

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



DISERTAČNÍ PRÁCE

Osvětlování konfliktních oblastí v dopravě

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science
Department of Electrical Power Engineering



DISSERTATION THESIS

Lighting of conflict areas in traffic

2015

Ing. Zdeněk Bláha

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Doktorský studijní program: Elektrotechnika P2649
Studijní obor: Elektroenergetika 3907V001
Autor: Ing. Zdeněk Bláha
Školitel: prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 2015

.....
Ing. Zdeněk Bláha

PODĚKOVÁNÍ:

Touto cestou bych rád poděkoval svému školiteli prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za jeho odborné vedení a mnoho cenných rad při zpracovávání disertační práce.

Dále bych rád poděkoval kolegům, rodičům a přítelkyni za podporu a trpělivost, kterou měli při mém studiu.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá problematikou osvětlování konfliktních míst na komunikacích. Věnuje se pak zejména osvětlování nejnebezpečnějšího konfliktního místa, tedy přechodu pro chodce. Na přechodu dochází ke křížení dopravních tras motorové dopravy a chodců, kteří jsou při možné srážce velice zranitelní. Aby bylo konfliktní místo vhodně osvětleno, musí být osvětlovaný prostor důkladně prozkoumán. Tomuto šetření je věnována tato práce.

V práci jsou popsány výsledky šetření nehodovosti na osvětlených přechodech z několika hledisek. Práce se věnuje bezpečnosti chodců na komunikacích z pohledu odraznosti jejich oděvů, předkládá metodiku pro návrh osvětlovací soustavy přechodu pro chodce, upozorňuje na možné chyby při návrhu a realizaci osvětlovací soustavy konfliktního místa, ověřuje popsanou metodiku na reálných případech.

Popsané předpoklady pro metodiku osvětlování jsou podrobeny statistickým ověřováním popsaných hypotéz. Hypotézy jsou podrobeny hodnocením z pohledu statistického i praktického.

Osvětlovací soustava konfliktního místa tvoří nezanedbatelnou část energetického zatížení sítě. Proto jsou v práci popsány i doporučení, jak snížit energetickou náročnost toho typu osvětlení.

Klíčová slova:

konfliktní místo, přechod pro chodce, jas, osvětlenost, kontrast, oslnění, měření, bezpečnost chodců, dopravní nehodovost, statistická analýza.

Abstract:

This thesis is focused on lighting of conflict areas on roads. Especially it is aimed at lighting of the most dangerous conflict area – the pedestrian crossing. At a pedestrian crossing there is the crossing of traffic routes and pedestrians, who are easily vulnerable during a possibly crash. A lighting area must be thoroughly explored because of appropriate lighting of conflict area. The thesis is aimed at this investigation.

The thesis describes investigation results of accident rate at illuminated pedestrian crossings from the several aspects. The thesis is dedicated to the safety of pedestrians on roads in terms of reflectivity their clothing, the thesis presents the methodology for designing of lighting system of pedestrian crossings, then it identifies possible mistakes during design and realization of lighting systems at pedestrian crossings, it also validates the described methodology on real cases.

The described assumptions of methodology for lighting are subjected to statistical verification of described hypotheses. The hypotheses are subjected to evaluation in terms of statistical and practical.

The lighting system of conflict area forms the significant part of energy network load. That is the reason why the recommendations how to reduce energy demands of this type of lighting are described.

Key Words:

conflict area, pedestrian crossing, luminance, illuminance, contrast, glare, measuring, safety of pedestrians, accident rate, statistical analysis

Seznam symbolů a zkratek:

A	[rok]	věk
C	[-]	kontrast
CIE	[-]	Mezinárodní komise pro osvětlování
č.	[-]	číslo
ČR	[-]	Česká republika
ČSN	[-]	Česká technická norma
D	[-]	diference
d	[-]	věcná významnost
E	[lx]	osvětlenost
GR	[-]	oslnění (venkovní osvětlení)
H ₀	[-]	hypotéza
H _A	[-]	alternativní hypotéza
h _D	[-]	dolní mez vnitřní hradby
h _H	[-]	horní mez vnitřní hradby
I	[cd]	svítivost
IQR	[-]	interkvartilové rozpětí
K(λ)	[lm/W]	spektrální světelná účinnost záření pro fotopické vidění
K'(λ)	[lm/W]	spektrální světelná účinnost záření pro skotopické vidění
K''(λ)	[lm/W]	spektrální světelná účinnost záření pro mezopické vidění
L	[cd.m ⁻²]	jas
L _a	[cd.m]	jas rozlišovaného detailu
L _b	[cd.m]	jas okolí
LED	[-]	Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo
L _{max}	[cd.m ⁻²]	maximální jas
L _{min}	[cd.m ⁻²]	minimální jas
LVD	[-]	indukční výbojka
L _{ve}	[cd.m]	ekvivalentní závojevý jas svítidla
L _{vl}	[cd.m]	závojevý jas svítidla
M	[lm/m ²]	světlení
MD	[-]	Ministerstvo dopravy
med	[-]	medián
např.	[-]	například
Obr.	[-]	obrázek
PP	[-]	Policejní prezidium
q	[sr ⁻¹]	součinitel jasu
Ra	[-]	všeobecný index podání barev
ŘSDP	[-]	Ředitelství služby dopravní policie
t	[s]	čas

Tab.	[-]	tabulka
T_c	[K]	náhradní teplota chromatičnosti
TI	[-]	prahový přírůstek
TKP	[-]	Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací MD
tzn.	[-]	to znamená
U_0	[-]	celková rovnoměrnost
$x_{0,25}$	[-]	dolní kvartil
$x_{0,50}$	[-]	medián
$x_{0,75}$	[-]	horní kvartil
μ	[-]	střední hodnota
ρ	[-]	průměrný činitel odrazu
σ^2	[-]	populační rozptyl
φ	[lm]	světelný tok
Ω	[sr]	prostorový úhel

Obsah

1	Úvod	- 1 -
2	Cíle disertační práce	- 4 -
2.1	Analýza dopravních nehod s účastí chodců.....	- 4 -
2.2	Posouzení vlivu odraznosti oblečení chodců na jejich viditelnost	- 4 -
2.3	Popis metodiky osvětlování přechodů pro chodce	- 5 -
2.4	Ověření navržené metodiky na reálných případech	- 5 -
2.4.1	Projektování a analýza přechodů pro Nadaci ČEZ.....	- 5 -
2.4.2	Ověřování správnosti osvětlení přechodů v Ostravě	- 5 -
2.5	Analýza jasových poměrů na přechodech pro chodce.....	- 5 -
2.6	Energetická náročnost osvětlovací soustavy přechodů pro chodce.....	- 5 -
3	Současný stav řešené problematiky	- 7 -
3.1	Stavební požadavky dle ČSN 73 6110	- 7 -
3.2	Požadavky na osvětlení přechodů pro chodce dle ČSN EN 13201-2.....	- 8 -
3.3	Řešení této problematiky ve světě.....	- 8 -
3.3.1	CIE 115:2010 Osvětlování komunikací pro motorovou a pěší dopravu	- 9 -
3.3.2	Nové poznatky CIE	- 12 -
4	Parametry ovlivňující bezpečnosti v konfliktních oblastech	- 14 -
4.1	Reakční doba řidiče	- 14 -
4.2	Kontrast jasů.....	- 15 -
4.3	Oslnění.....	- 16 -
4.3.1	Činitel oslnění GR.....	- 17 -
4.3.2	Prahový přírůstek TI.....	- 17 -
4.4	Adaptační pásma	- 19 -
4.4.1	Adaptace	- 19 -
4.4.2	Požadavky legislativy	- 20 -
5	Analýza dopravních nehod v Ostravě s účastí chodců	- 22 -
5.1	Počet dopravních nehod v ČR a Ostravě.....	- 23 -
5.2	Následky dopravních nehod v ČR a Ostravě.....	- 23 -

5.3	Počet dopravních nehod s účastí chodce v Ostravě.....	- 25 -
5.4	Následky dopravních nehod s účastí chodce okrese Ostrava	- 25 -
5.5	Zastavěnost lokality události dopravní nehody	- 26 -
5.6	Třída komunikace události dopravní nehody	- 27 -
5.7	Situace v místě nehody.....	- 27 -
5.8	Smyk v místě nehody	- 29 -
5.9	Viditelnost v místě nehody	- 29 -
5.10	Povětrnostní podmínky v době dopravní nehody	- 30 -
5.11	Rozhledové poměry v místě dopravní nehody s chodcem	- 30 -
5.12	Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – měsíční srovnání.....	- 31 -
5.13	Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – denní srovnání	- 32 -
5.14	Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – hodinové srovnání	- 32 -
6	Odraznost chodců	- 34 -
7	Popis metodiky osvětlování přechodů pro chodce	- 44 -
7.1	Popis jednotlivých částí přechodu pro chodce	- 44 -
7.2	Obecné požadavky	- 45 -
7.3	Kvantitativní a kvalitativní požadavky.....	- 46 -
8	Ověření navržené metodiky na reálných případech.....	- 48 -
8.1	Projektování a analýza přechodů pro Nadaci ČEZ.....	- 48 -
8.1.1	Chyby při umístění přechodu pro chodce.....	- 48 -
8.1.1.1	Přecházení vozovky přes více jak dva jízdní pruhy bez ostrůvku	- 48 -
8.1.1.2	Špatné rozhledové poměry – parkovací místa.....	- 49 -
8.1.1.3	Špatné rozhledové poměry – zatáčka	- 50 -
8.1.1.4	Šikmé křížení komunikace	- 50 -
8.1.2	Návrh osvětlovací soustavy	- 51 -
8.1.2.1	Osvětlovací soustava	- 51 -
8.1.2.2	Požadované hodnoty.....	- 51 -
8.1.2.3	Světelné zdroje	- 52 -
8.1.3	Výsledky měření realizovaných přechodů pro chodce.....	- 53 -

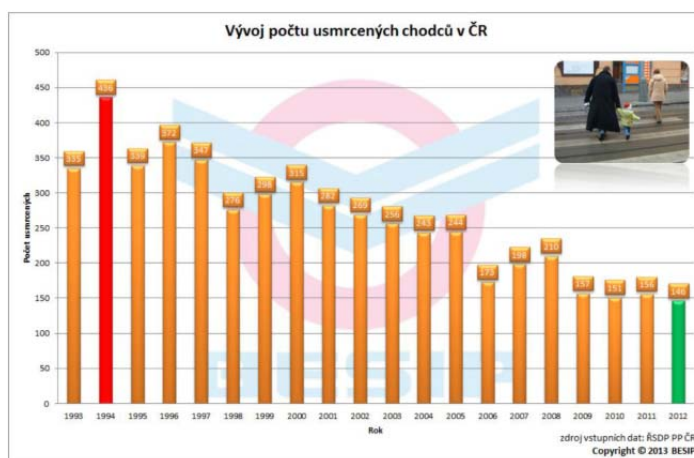
8.1.3.1	Nesplnění doporučení vytvoření dostatečné adaptační zóny	- 53 -
8.1.3.2	Zřízení osvětlení přechodu jen na jednom z přechodů na uceleném celku komunikace	- 53 -
8.1.3.3	Jasové poměry při špatných povětrnostních podmínkách	- 55 -
8.1.3.4	Oslnění reklamní plochou.....	- 56 -
8.1.3.5	Rušivé světlo	- 56 -
8.2	Ověřování bezpečnosti osvětlení přechodů v Ostravě.....	- 57 -
8.2.1	Dopravní nehodovost	- 57 -
8.2.2	Jasové poměry - odraznost oděvu chodce	- 58 -
8.2.3	Jasové poměry - jas pozadí.....	- 60 -
9	Testování hypotéz analýz jasových poměrů na přechodech pro chodce	- 65 -
9.1	Popis měření	- 68 -
9.1.1	Horizontální osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený)	- 69 -
9.1.2	Horizontální osvětlenost přechodu pro chodce (základní prostor)	- 69 -
9.1.3	Horizontální osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu / Horizontální osvětlenost v prostoru ostrůvku	- 70 -
9.1.4	Horizontální osvětlenost v jízdním pruhu před přechodem.....	- 70 -
9.1.5	Horizontální osvětlenost v jízdním pruhu za přechodem	- 70 -
9.1.6	Vertikální osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený) 0,9 m nad vozovkou	- 70 -
9.1.7	Vertikální osvětlenost přechodu pro chodce (základní prostor) 0,9m nad vozovkou- ..	- 71 -
9.1.8	Vertikální osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu 0,9 m nad vozovkou / Vertikální osvětlenost v prostoru ostrůvku 0,9 m nad vozovkou	- 71 -
9.1.9	Vertikální osvětlenost v jízdním pruhu 60 m před přechodem - 1,5 m nad vozovkou- ..	- 71 -
9.1.10	Jas přechodu pro chodce (základní prostor)	- 72 -
9.1.11	Jas pozadí nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený).....	- 72 -
9.1.12	Jas pozadí přechodu pro chodce (základní prostor).....	- 72 -
9.1.13	Jas pozadí nástupního místa v opačném jízdním pruhu / Jas pozadí v prostoru ostrůvku - ..	- 72 -

9.2	Stanovení testovaných hypotéz	- 73 -
9.3	Testování hypotézy	- 73 -
9.3.1	Párové testy	- 73 -
9.3.2	Testy o střední hodnotě normálního rozdělení	- 74 -
9.3.2.1	Jednovýběrový z test	- 75 -
9.3.2.2	Jednovýběrový t test	- 75 -
9.3.3	Kvantilový test	- 75 -
9.3.4	Jednovýběrový Wilcoxonův test	- 76 -
9.4	Metodika při posuzování významnosti	- 78 -
9.4.1	Výpočet limitů shody	- 78 -
9.4.2	Párové t-testy a stanovení kritických hodnot pozorovaných poměrů náhodných veličin. -	79 -
9.4.3	Pearsonův korelační koeficient	- 80 -
9.4.4	Spearmanův korelační koeficient	- 81 -
9.4.5	Statistická, věcná a praktická významnost	- 83 -
9.5	Výsledky statistické analýzy	- 84 -
9.5.1	Čím vyšší je horizontální osvětlenost komunikace, tím vyšší je jas pozadí	- 85 -
9.5.1.1	Vyhodnocení	- 85 -
9.5.1.2	Závěr	- 87 -
9.5.2	Jas pozadí přechodu je vyšší než jas pozadí nástupu či ostrůvku	- 88 -
9.5.2.1	Vyhodnocení	- 88 -
9.5.3	Jas pozadí přechodu je v obou směrech stejný	- 91 -
9.5.3.1	Vyhodnocení	- 92 -
9.5.4	Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná	- 94 -
9.5.4.1	Vyhodnocení	- 94 -
9.5.5	Horizontální osvětlenost přechodu je vyšší než osvětlenost komunikace (kolikrát)-	102
	-	
9.5.6	Jas přechodu je vyšší než jas pozadí (kolikrát)	- 104 -
9.5.7	Čím vyšší je horizontální osvětlenost přechodu, tím vyšší je svislá osvětlenost přechodu	
	- 107 -	

9.5.7.1	Umístění osvětlení 1 (120 přechodů).....	- 107 -
9.5.7.2	Umístění osvětlení 2, 3, 4 (54 přechodů).....	- 108 -
10	Energetická náročnost osvětlovací soustavy přechodů pro chodce	- 110 -
10.1	Možnosti optických systémů svítidla	- 110 -
10.2	Světelné zdroje používané pro osvětlování přechodů pro chodce.....	- 112 -
10.2.1	Halogenidová vysokotlaká výbojka	- 112 -
10.2.2	Světelné diody LED	- 113 -
10.2.3	Indukční výbojka.....	- 114 -
10.2.4	Srovnání příkonů a parametrů osvětlení při zapnutém svítidle	- 115 -
10.3	Vyhodnocení měření	- 115 -
10.4	Technický vývoj LED svítidel pro osvětlování přechodů pro chodce	- 116 -
10.4.1	Optické systémy	- 116 -
10.4.2	Barevný tón světla.....	- 117 -
10.4.3	Napájecí zdroje.....	- 117 -
11	Závěr.....	- 120 -
11.1	Přínos práce	- 122 -
11.2	Doporučení pro další postup ve výzkumu a praxi	- 122 -
12	Seznam použité literatury	- 123 -
13	Seznam vlastních projektů a publikací	- 126 -
13.1	Řešené projekty	- 126 -
13.2	Seznam publikací	- 126 -
13.2.1	Seznam publikací vztahujících se k disertační práci	- 126 -
13.2.1.1	Publikace indexované na WoS a SCOPUS	- 126 -
13.2.1.2	Publikace v recenzovaném tuzemském časopise.....	- 127 -
13.2.1.3	Publikace ostatní.....	- 127 -
13.2.2	Seznam ostatních publikací	- 128 -
14	Seznam příloh	- 129 -

1 Úvod

Nejpřirozenějším pohybem člověka je chůze. V dnešní době je mnohokrát nahrazována jízdou dopravním prostředkem. Především ve velkých městech dochází ke střetům těchto dvou typů přepravy. Díky vytvoření přechodů pro chodce může chodec nerušeně vstoupit do vozovky a zkřížit tak dráhu jiným účastníkům dopravního provozu jedoucím v dopravním prostředku. Přechod pro chodce je definován jako konfliktní oblast. Další kritické oblasti v dopravě jsou všechna místa, kde dochází k protínání či souběhu vozidel s chodci či cyklisty. A dále také tam, kde je změna v geometrii komunikace. V těchto oblastech je vyšší možnost kolize. Při kolizích je bohužel nejvíce zranitelný chodec. Chodci by se tedy měli držet základních pravidel. Měli by především užívat chodníky. Pokud na chodníku nejsou, měli by se držet jen na správné straně vozovky. Samozřejmě by měli být dostatečně viditelní. Například jenom použití reflexního prvku na oblečení zvyšuje viditelnost chodce ve tmě až na dvě stě metrů. Zodpovědný chodec se po komunikaci a chodníku pohybuje dle platných i zvykových pravidel, využívá značených přechodů pro chodce a tam, kde nejsou, se pohybuje nejen podle předpisů, ale především tak, aby neohrozil sebe ani ostatní účastníky na komunikaci.

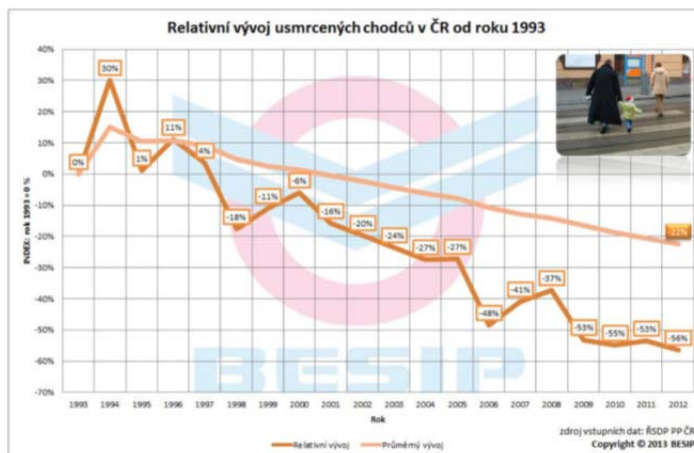


Obr. 1 Vývoj počtu usmrčených chodců v ČR [13]

Přes všechna tato ustanovení dochází k častým dopravním nehodám, kterých je účastněn chodec. Dle statistických údajů se stalo v roce 2012 na 81404 dopravních nehod, při kterých zemřelo 681 účastníků dopravní nehody. Z tohoto počtu úmrtí je 146 chodců.

Na Obr. 1, kde je graf počtu usmrčených chodců za období 1993-2012, vidíme, že nejvíce úmrtí bylo v roce 1994 a to 436. Nejméně pak v roce 2012. Což je o deset méně než v roce 2011. Z absolutních

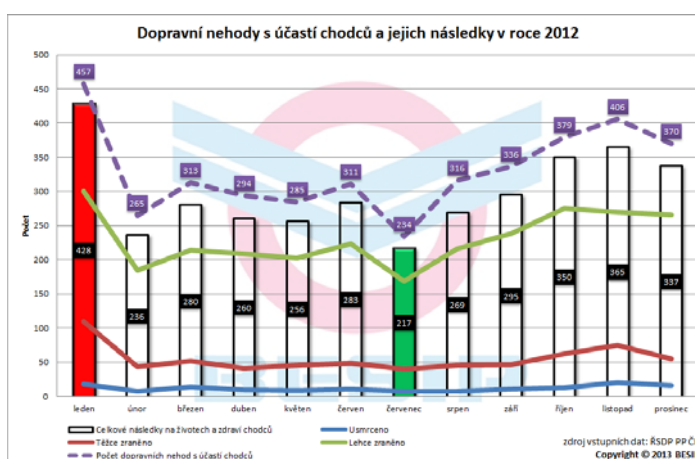
údajů je patrné, že úmrtnost se dlouhodobě snižuje. V celém období je zaznamenán průměrný pokles usmrcených chodců o 22 %.



Obr. 2 Podíl usmrcených chodců v ČR [13]

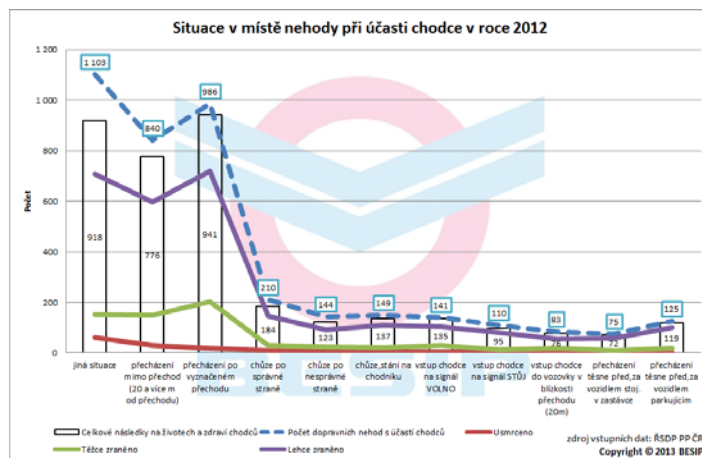
V průměru se usmrcení chodci podíleli na všech usmrcených v roce 2012 celkem 21,4 %. Na Obr. 3 jsou zřejmé uvedené podíly v jednotlivých měsících. Výrazně nadprůměrný byl měsíc leden, kdy ze všech usmrcených tvořili chodci 39,1 %. Nadprůměrné měsíce jsou v zimním období. Naopak nejnižší podíl usmrcených chodců byl v srpnu, a to 10,8 %.

Pokud se zaměříme na hodinové úseky úmrtnosti chodců, nejvíce chodců bylo v roce 2012 usmrceno mezi 16. až 17. hodinou a také mezi 18. až 19. hodinou (shodně 15 usmrcených). Následují pak časné ranní hodiny (6-7, resp. 4-5). Naopak nejméně chodců (2) byli usmrceni mezi 2. až 3. hodinou a také mezi 8. až 9. hodinou.



Obr. 3 Podíl usmrcených chodců v jednotlivých měsících [13]

Z těchto údajů je možno usoudit, že nejvíce chodců bylo usmrceno při snížené viditelnosti.



Obr. 4 Situace v místě nehody [13]

Nejvíce dopravních nehod, kterých je účastněn chodec, se stalo na a v blízkosti přechodu pro chodce. Z tohoto důvodu je práce věnována především této konfliktní oblasti - přechodu pro chodce.[1], [12], [13].

Jelikož je pro získání kvalitního osvětlení konfliktního místa potřeba poměrně velké množství elektrické energie, byly přechody podrobeny i hodnocení, které hodnotí spotřebu elektrické energie.

Tato disertační práce se také zabývá doposud málo probádaným oborem mezopického vnímání a adaptačních jasů. Mezi další problematiku, která se k této konfliktní oblasti váže, patří: reakční doba řidiče, oslnění GR, prahový přírůstek TI, kontrast. Všechna tato kritéria, která ovlivňují bezpečnost v dopravě, jsou v této práci popsána.

2 Cíle disertační práce

Jak již bylo popsáno, nejkritičtější konfliktním místem na komunikaci z pohledu bezpečnosti chodců je přechod pro chodce. Do dnešní doby však nejsou stanovena přesná kritéria, jak v nočních hodinách bezpečnost na přechodech zvýšit.

Mezi hlavní podklady pro stanovení metodiky patří dokumenty CIE divize 4. Především tedy CIE 115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic a technické zprávy týkající se oslnění a mezopického vidění. Další dokument, který je využíván při stanovení vhodných požadavků, je TKP kapitola 15, dodatek č. 1.

Proto je hlavním tématem této disertační práce stanovit kritéria, kvalitativní a kvantitativní požadavky pro osvětlování konfliktních míst, především přechodů pro chodce.

Aby bylo možné stanovit pravidla pro osvětlování přechodů pro chodce, je potřeba správně analyzovat daný prostor, ze získaných dat správně kvantifikovat hodnocené parametry.

Z výše popsaného tedy plynou cíle této disertační práce.

2.1 Analýza dopravních nehod s účastí chodců

Tato analýza využívá poznatků a dat získaných z policejních protokolů o dopravních nehodách. Při každé dopravní nehodě, u které asistuje policie, je sepsán protokol, který blíže specifikuje událost dopravní nehody. Údaje z těchto protokolů jsou velice cenné k získání přehledu, za jakých podmínek k dopravní nehodě došlo.

Zpracovávaná data jsou z dopravních nehod, které se udály v časovém úseku roků 2009 – 2013 na území města Ostravy. Data přiblíží četnost dopravních nehod, dopravních nehod s chodcem, následky dopravní nehody, místa, kde se dopravní nehody odehrála a čas, kdy k dopravní nehodě došlo.

2.2 Posouzení vlivu odraznosti oblečení chodců na jejich viditelnost

Nezbytné kritérium bezpečnosti chodců na komunikacích je jejich viditelnost. Proto je snaha přechody pro chodce přisvětlit na odpovídající hladinu osvětlenosti tak, aby se zvýšil jas oděvu procházejícího chodce a řidič byl včas upozorněn na hrozící nebezpečí srážky s chodcem. Jelikož je ale jas chodce závislý na odraznosti jeho oděvu, je velice důležité znát odraznosti oděvů osvětlovaných chodců. Tento cíl práce na základě měření odraznosti oděvů náhodných chodců kvantifikuje hodnotu poměrné odraznosti.

2.3 Popis metodiky osvětlování přechodů pro chodce

Tato část přináší popis důležitých parametrů při osvětlování přechodů pro chodce. Jsou zde popsány hodnoty, které by měly být dodrženy pro kvalitní osvětlení nejen místa přechodu pro chodce, ale i jeho okolí.

2.4 Ověření navržené metodiky na reálných případech

2.4.1 Projektování a analýza přechodů pro Nadaci ČEZ

Na jaře roku 2013 proběhla mediální kampaň, která upozorňovala na nebezpečí srážky chodce s vozidlem na přechodech pro chodce. Vybrané nebezpečné přechody byly na náklady nadace osvětleny. Pro tuto nadaci, která zajišťovala i projekční práce, autor prováděl návrhy osvětlovacích soustav a po realizaci také kontroloval správnost provedené realizace. Z této spolupráce vzniklo mnoho podnětů, které jsou zde popsány.

2.4.2 Ověřování správnosti osvětlení přechodů v Ostravě

Během roku 2014 proběhlo v ostravských ulicích rozsáhlé měření, které se zaměřilo na ověření správnosti osvětlení již zrealizovaných přechodů pro chodce. Výsledky tohoto měření jsou konzultovány s příslušným správcem a na jejich základě jsou provedena opatření, která pomáhají ke zlepšení bezpečnosti na těchto přechodech pro chodce.

Přechody byly hodnoceny také z hlediska přínosu ke zvýšení bezpečnosti. Každý z přechodů byl analyzován jeden rok před realizací přisvětlení a jeden rok po realizaci přisvětlení.

2.5 Analýza jasových poměrů na přechodech pro chodce

V této části jsou analyzována cenné data z měření světelně technických parametrů na a v okolí ostravských přechodů pro chodce. Důraz je kladen na hodnoty jasu a osvětlenosti jednotlivých částí přechodu a hledají se závislosti mezi těmito parametry.

Během provedených analýz bylo matematicky testováno několik hypotéz, jejichž výsledky měly potvrdit či vyvrátit předpoklady, se kterými bylo uvažováno při stanovování hodnot parametrů v metodice přisvětlování přechodů pro chodce.

2.6 Energetická náročnost osvětlovací soustavy přechodů pro chodce

Svídla používaná pro osvětlování přechodů pro chodce procházejí neustálým technickým vývojem, který se snaží uzpůsobit světelně technické parametry svítidla tak, aby byla pro osvětlování daného prostoru co nejefektivnější.



Jelikož náklady na provoz osvětlovací soustavy ovlivňuje především cena spotřebované elektrické energie a náklady na údržbu svítidel, je potřeba se zaměřit především na kritéria výkonu a životnosti svítidla. Abychom využili maximum dodané elektrické energie, která je přeměněna na energii světelnou, je zapotřebí k návrhu osvětlovací soustavy přistupovat tak, aby byl maximálně využitý světelný tok světelného zdroje.

Tato část popisuje rozdíly při použití rozdílných optických systémů a světelných zdrojů. Jsou porovnávána svítidla s asymetrickými a symetrickými optikami a také nepoužívanější světelné zdroje pro osvětlování přechodů pro chodce.

Pozornost je především věnována LED světelným zdrojům, které za poslední dobu prošly největším vývojem.

3 Současný stav řešené problematiky

Dnes platná legislativa se osvětlováním konfliktních oblastí a především přechodů pro chodce zabývá spíše z obecného hlediska. Stavební požadavky pro umístění přechodu pro chodce jsou rozsáhle zpracovány v normě ČSN 73 6110 – Projektování místních komunikací. V této normě jsou popsány požadavky pro bezpečné umístění a správnou výstavbu přechodu pro chodce.

3.1 Stavební požadavky dle ČSN 73 6110

Úroňový přechod pro chodce má křížit jízdní pruhy kolmo a má být umístěn tak, aby měl chodec vhodné rozhledové poměry. Přechod pro chodce se má vyznačit zvýrazněným svislým vodorovným dopravním značením. V zájmu bezpečnosti chodců se mají přechody vybavit vhodnými stavebními opatřeními.

Přechody pro chodce bez řízení světelnou signalizací se mohou navrhovat jen přes dva protisměrné jízdní pruhy. Přechody pro chodce se zřizují jen tam, kde nejvyšší dovolená rychlost není vyšší než 50 km/h. V místech větší koncentrace chodců, zejména dětí, je vhodné dovolenou rychlost dále snížit. Doporučená opatření: intenzivnější osvětlení nebo i s odlišným zbarvením světla. Světelný zdroj má být umístěn nad nebo před přechodem a má zajistit viditelnost chodců z obou směrů i na čekacích plochách a také viditelnost vodorovného značení.

Tab. 1 Možnosti stavebního opatření [5]

Uspořádání přechodů a míst pro přecházení			
Uspořádání úroňové			Uspořádání mimoúrovňové
S vyznačením dopravními značkami		Se světelným zařízením	
bez stavebních opatření	se stavebními opatřeními	bez i se stavebními opatřeními	
<i>přechody pro chodce vyznačené dopravními značkami svislými i vodorovnými</i>	<i>přechody pro chodce vyznačené dopravními značkami a doplněné: středními dělicími ostrůvky, vysázenými chodníkovými plochami, zúžením jízdních pruhů, zvýšenými plochami.</i>	<i>Přechody pro chodce se světelnou signalizací vyznačené dopravními značkami a doplněné: středními dělicími ostrůvky, vysázenými chodníkovými plochami, zúžením jízdních pruhů, zvýšenými plochami.</i>	<i>podchody / nadchody</i>

Dopravní značení musí být i za tmy zřetelné. Vybrané přechody se mohou zvýraznit světelnými signály (přerušovaným žlutým světlem). [5]

3.2 Požadavky na osvětlení přechodů pro chodce dle ČSN EN 13201-2

Přechody pro chodce vyžadují v některých případech zvláštní pozornost. V některých státech existují národní normy, které uvádějí další návod vztahující se k národní praxi.

Lze-li běžnou osvětlovací soustavou zajistit dostatečně vysokou úroveň jasu povrchu komunikace v místě přechodu, je možné vhodným umístěním běžných uličních svítidel dosáhnout dostatečného negativního kontrastu, při kterém je chodec na přechodu vnímán jako tmavá silueta na světlém pozadí.

Místní osvětlení přídatnými svítidly se používá v případě, pokud chceme přímo osvětlit chodce na a u přechodu a upozornit řidiče motorových vozidel na přítomnost přechodu.

Typ přídatných svítidel a jejich umístění a orientace vůči přechodu pro chodce musí být zvolen tak, aby bylo dosaženo pozitivního kontrastu a aby nedošlo k nadměrnému oslnění řidičů. Jedním z řešení je umístění svítidel v malé vzdálenosti před přechodem z pohledu řidičů přijíždějících motorových vozidel tak, aby chodce osvětlovala ze směru přijíždějících vozidel. V případě komunikace s obousměrným provozem je třeba svítidla umístit před přechodem v každém z obou směrů jízdy na té straně komunikace, po níž vozidla k přechodu přijíždějí. Vhodná jsou svítidla s asymetrickým rozložením svítivosti.

Místní osvětlení by mělo dostatečné osvětlení chodců ze strany přijíždějících vozidel v celé oblasti přechodu. Svislá osvětlenost chodců musí být výrazně vyšší než vodorovná osvětlenost přilehlé komunikace zajištěná běžnou osvětlovací soustavou komunikace. V oblastech na obou koncích přechodu, kde chodci čekají před vstupem do jízdního pásu, je také nutno zajistit dostatečnou osvětlenost. Osvětlení omezené na oblast přechodu pro chodce a na úzký pás kolem něj vyvolává divadelní efekt, který pomáhá upoutat pozornost.

Dle výše uvedeného je zřejmá benevolentnost při osvětlování toho konfliktního místa. Některé přechody pro chodce jsou osvětleny nedostatečně, některé jsou přesvětleny a dochází spíše k oslnění řidiče, další díky špatně zvolenému typu svítidla a geometrie uspořádání zhoršují vizuální podmínky. [3]

3.3 Řešení této problematiky ve světě

Mezinárodní organizací, která se zabývá osvětlováním, je Mezinárodní komise pro osvětlování (Commission Internationale de l'Éclairage – CIE). Tato organizace se skládá ze sedmi divizí. Divize

č. 4 Lighting and Signalling for Transport – Osvětlení a signalizace v dopravě zkoumá osvětlování veřejných komunikací pro všechny druhy uživatelů.

3.3.1 CIE 115:2010 Osvětlování komunikací pro motorovou a pěší dopravu

V roce 2010 byla vydána technická zpráva CIE 115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic (Osvětlování komunikací pro motorovou a pěší dopravu). Tato zpráva se ve své jedné části zabývá řešením osvětlení v konfliktních oblastech.

Tab. 2 Parametry pro výběr třídy osvětlení C. [1]

Parametr	Možnosti	Váhové hodnoty V_w	V_w výběr
Rychlost	Velmi vysoká	3	
	Vysoká	2	
	Běžná	1	
	Nízká	0	
Intenzita provozu	Velmi vysoká	1	
	Vysoká	0,5	
	Běžná	0	
	Nízká	-0,5	
	Velmi nízká	1	
Složení dopravy	Smíšené s velkým procentem nemotorizované	2	
	Smíšené	1	
	Pouze motorizovaná	0	
Rozdělení vozovky	Ne	1	
	Ano	0	
Jas okolí	Vysoký	1	
	Běžný	0	
	Nízký	-1	
Optické vedení / dopravní kontrola	Špatná	0,5	
	Běžná nebo dobrá	0	
Suma váhových hodnot			V_{ws}

Osvětlení by mělo odhalit existenci konfliktních oblastí, pozici obrubníků a dopravního značení, směr komunikace, přítomnost chodců a ostatních uživatelů komunikace, překážky a pohyby vozidel v okolí konfliktní oblasti. Tam, kde není osvětlení a je jiné vedení komunikace či se zde nachází konfliktní oblast, měla by být instalována vybraná třída osvětlení na dostatečně dlouhé délce komunikace tak,

aby poskytovala osvětlený úsek v délce okolo 5 sekund při předepsané rychlosti dopravy. Pro 50 km/h je to dráha téměř 70 m.

Výběr třídy osvětlení se provádí pomocí váhových kritérií. Třídy osvětlení od C0 až po C5 jsou definovány kritérii osvětlování, které jsou pro každou třídu v Tab. 4.

Pro výběr třídy osvětlení C jsou aplikovány příslušné váhové hodnoty v Tab. 2, které musí být vybrány a přidány pro rozdílné parametry tak, aby konstatovaly součet váhových hodnot (V_{ws}). Číslo třídy osvětlení C je pak vypočteno jako:

číslo třídy osvětlení

$$C = 6 - V_{ws} \quad (1)$$

Pečlivý výběr vhodných váhových hodnot bude poskytovat čísla tříd mezi 0 a 5. Pokud výsledek není celé číslo, použijte další nižší celé číslo.

Pro konfliktní oblasti je jas doporučeným projektovým kritériem. Ale tam, kde pozorovací vzdálenosti jsou krátké nebo ostatní faktory zabraňují použití kritéria jasu, může být použita osvětlenost buď na části, nebo na celé konfliktní oblasti, pokud kritérium jasu nemůže být aplikováno všude.

Shoda mezi jasnem a průměrnou horizontální osvětleností závisí na součiniteli jasu povrchu komunikace, což je představovaná hodnota povrchu q_0 .

Součinitel jasu je poměr jasu elementu povrchu v daném směru k osvětlenosti.

Měrnou jednotkou je sr^{-1} .

$$q = \frac{L}{E} \quad (2)$$

kde

q je součinitel jasu v reciprokých steradiánech

L je jas v kandelách na metr čtvereční

E je osvětlenost v luxech

Tab. 3 poskytuje vztah mezi třídami M a C na třech příkladech hodnot q_0 .

Tab. 3 Třídy osvětlení M a C ve srovnání úrovní osvětlení pro rozdílné hodnoty q_0 povrchu komunikace[1]

Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)			2,0	1,5	1,0	0,75	0,50	0,30
Třída osvětlení C, když $q_0=0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Průměrná osvětlenost E (lx)			50	30	20	15	10	7,5
Třída osvětlení C, když $q_0=0,07 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	
Průměrná osvětlenost E (lx)		50	30	20	15	10	7,5	
Třída osvětlení C, když $q_0=0,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5		
Průměrná osvětlenost E (lx)	50	30	20	15	10	7,5		

Tab. 3 poskytuje srovnatelné M a C třídy pro různé hodnoty q_0 povrchu komunikace. První řádek uvádí třídy M, z kterých je třída jasu použita vybranou nejdůležitější komunikací vedoucí do konfliktní oblasti. Poté je z prvního sloupce vybrána ekvivalentní osvětlenost třídy C závisící na hodnotě q_0 . Skutečná třída C je použita v konfliktních oblastech a je doporučováno, aby byla o jeden krok vyšší než ekvivalentní třída takto určena.

Tab. 4 Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti [1]

Třída osvětlení	Průměrná osvětlenost přes všechny užití povrchové E (lx)	Rovnoměrnost osvětlenosti U_0 (E)	Prahový přírůstek f_{PI} (%) ¹⁾	
			Vysoká a běžná rychlost	Nízká a velmi nízká rychlost
C0	50	0,40	10	15
C1	30	0,40	10	15
C2	20	0,40	10	15
C3	15	0,40	15	20
C4	10	0,40	15	20
C5	7,5	0,40	15	20

¹⁾ Vhodné tam, kde optické úlohy jsou obvykle důležitými ukazateli pro osvětlování komunikací pro motorovou dopravu (třídy M).

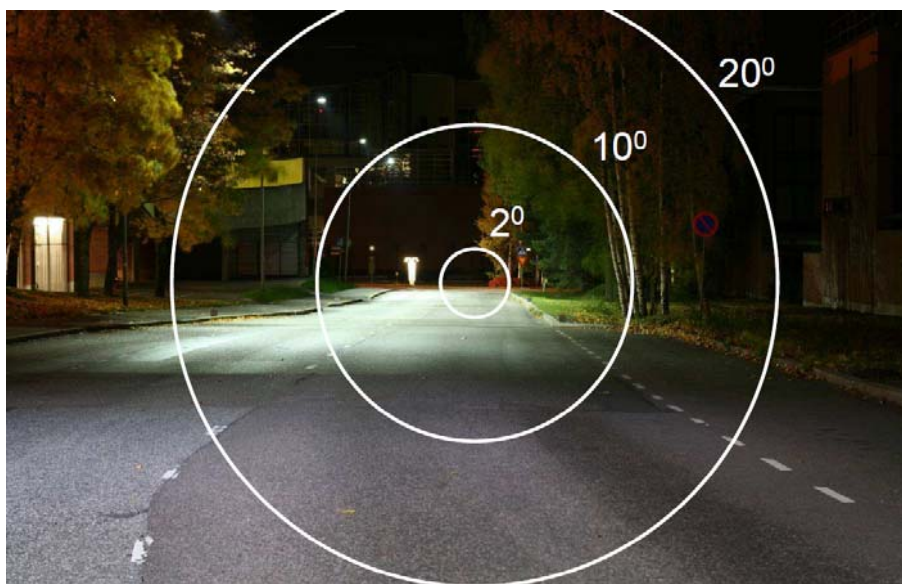
Konfliktní oblasti by minimálně neměly mít nižší úroveň osvětlení než tu, kterou mají přilehlé komunikace. Je doporučováno, aby byla třída osvětlení, která je použita pro konfliktní oblasti, normálně o jeden krok vyšší než nejvyšší třída osvětlení použitá pro komunikaci nebo komunikaci vedoucí do konfliktní oblasti (např. M2 namísto M3). Toto nebude možné tam, kde jsou přístupové cesty osvětleny Třídou M1. V tomto případě by měla být konfliktní oblast osvětlena rovněž třídou M1.[1], [4]

3.3.2 Nové poznatky CIE

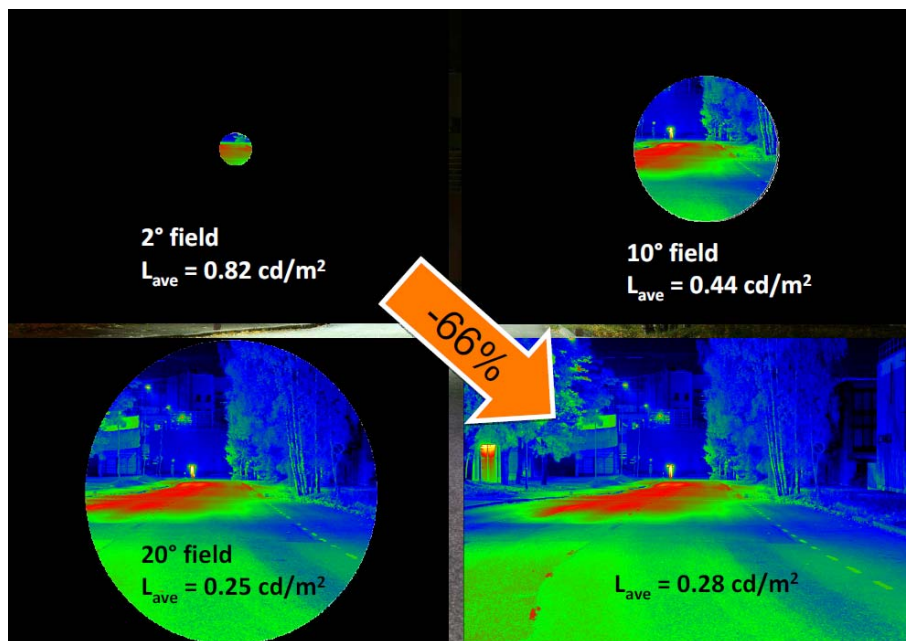
Nejvíce diskutovaným a nejméně probádaným oborem ve světelné technice je mezopické vidění. V lednu 2012 proběhl workshop pořádaný CIE ve Vídni, který měl za úkol představit nové vědecké poznatky v této oblasti. Častým tématem je vliv adaptačního jasu na mezopickém vidění.

Lidské oko je při osvětlování komunikací adaptováno na jasy v oblasti mezopického vidění ($0,005 \text{ cd.m}^{-2} - 5 \text{ cd.m}^{-2}$). V rozmezí těchto hladin jasů lidské oko využívá jak čípků, tak tyčinek. Tyčinky jsou citlivější na světlo v oblasti kratších vlnových délek.

Rozdíly také panují v zorném poli řidiče. Pokud se řidič soustředí na kritický detail (zorné pole 2°), vnímá obraz foveálním viděním. Při tomto vidění se jako fotoreceptory uplatňují především čípkové, které jsou umístěny v centrální jamce – žluté skvrně. Při periferním vidění (zorné pole např. 20°) jsou aktivní především tyčinky, které jsou nejhustěji rozmístěny po okraji sítnice.



Obr. 5 Analyzovaná oblast na komunikaci [7]



Obr. 6 Vyhodnocení průměrných jasů [7]

Na Obr. 5 a Obr. 6 jsou znázorněny jednotlivé situace pro zorné úhly 2°, 10° a 20°. Z vyhodnocených průměrných jasů vidíme, že čím je úhel větší, tím je průměrný jas nižší. Rozdíl mezi 2° a 20° je okolo 66 %.[7]

4 Parametry ovlivňující bezpečnosti v konfliktních oblastech

4.1 Reakční doba řidiče

Reakční doba řidiče je doba, která je nutná k tomu, aby zareagoval jeho biologický systém na podnět (objekt) z jeho zorného pole, to i v případech, kdy jde o podnět náhlý, neočekávaný. V obecné rovině můžeme tuto dobu rozdělit na tři základní části:

- počátek vidění podnětu (objektu) - uvádí se, že je to optická reakce,
- doba nutná k rozpoznání podnětu (objektu) – uvádí se jako psychická reakce,
- vlastní odpověď biologického systému na podnět (objekt) – uvádí se svalová reakce.

Již ze základních znalostí fyziologie zraku člověka je fyzikálně pojímaný problém světla postaven na tom, že lidé potřebují vlastně světlo pouze k tomu, aby při výkonu svých činností jen viděli, a celý problém je tak zúžen. V mnoha směrech je chápán jen jako proces, který se odehrává na sítnici lidského oka s využitím jednotlivých receptorů sítnice, při fotopickém, mezopickém a skotopickém vidění, při odpovídajících úrovních osvětlení s přenesením této vizuální informace do centra nervové soustavy.

Podněty (objekty) přicházejí jednak z periferie, ale i přímo ze zorného pole řidiče – foveální vidění. Je-li podnět u řidiče natolik zajímavý, tak se automaticky převede z periferního vidění do oblasti foveálního vidění, tedy místa s nejostřejším nejpřesnějším viděním. Tato skutečnost platí pro všechny tři základní druhy vidění (fotopické, mezopické i skotopické).

Zajímavý podnět, který byl registrován sítnicí a byl převeden do místa nejostřejšího a nepřesnějšího vidění, se postupně převádí do center rozpoznávání, postupující přes strukturované vertikální a horizontální neuronové vazby k analýze ve třech centrech pro každé oko, za odpovídající dané úrovně osvětlení prostoru takto:

- první centrum analyzuje pohyb, lokalizuje podnět a jeho prostorovou organizaci,
- druhé centrum analyzuje barvu podnětu,
- třetí centrum určuje tvar podnětu.

V řadě publikací jsou uváděny některé hodnoty reakčních časů řidičů dle následujících tabulek:

Tab. 5 Reakční doba řidiče při úhlu pohledu do $0,75^\circ$ [10]

Reakční doba řidiče při úhlu pohledu do $0,75^\circ$ na objekt	
Optická reakce	0,00 s
Psychická reakce	0,22 - 0,58 s
Svalová reakce	0,15 - 0,79 s
CELKOVÁ REAKČNÍ DOBA	0,37 - 0,79 s

Tab. 6 Reakční doba řidiče při úhlu pohledu do 5° [10]

Reakční doba řidiče při úhlu pohledu do $5,00^\circ$ na objekt	
Optická reakce	0,32 - 0,55 s
Psychická reakce	0,22 - 0,58 s
Svalová reakce	0,15 - 0,21 s
CELKOVÁ REAKČNÍ DOBA	0,69 - 1,34 s

Tab. 7 Reakční doba řidiče při úhlu pohledu nad 5° [10]

Reakční doba řidiče při úhlu pohledu nad $5,00^\circ$ na objekt	
Optická reakce	0,41 - 0,70 s
Psychická reakce	0,22 - 0,58 s
Svalová reakce	0,15 - 0,21 s
CELKOVÁ REAKČNÍ DOBA	0,78 - 1,49 s

Jak je z uvedených tabulek zřejmé, reakční doba řidiče na danou překážku na silnici závisí na poloze překážky. Pokud je překážka přímo v zorném poli řidiče, je spatřena okamžitě a reakční doba řidiče je rychlejší než při výskytu překážky v periferní oblasti.[10]

4.2 Kontrast jasů

Aby mohl pozorovatel rozlišit předměty pozorované v zorném poli, je třeba, aby předměty měly dostatečně rozdílné jasy, popř. barvy (kontrast jasů či barev), a u trojrozměrných předmětů aby bylo vhodně vytvořenými stíny zajištěno vyniknutí prostorové struktury a uspořádání předmětů.

Za předpokladu rovnoměrného jasu L_a rozlišovaného detailu jasu L_b jeho okolí, resp. pozadí, lze stupeň rozeznatelnosti detailu charakterizovat kontrastem jasu

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (3)$$

neboť pravděpodobnost zpozorování detailu, resp. rozlišení jejího tvaru, narůstá právě se zvětšováním této veličiny. Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů $|L_a - L_b|_{\min} = \Delta L_{\min}$ se nazývá práh rozlišitelnosti jasu a jemu odpovídající kontrast $C_{\min} = \Delta L_{\min}/L_b$ je prahový kontrast.

Převrácená hodnota prahového kontrastu se označuje pojmem kontrastní citlivost. Její velikost závisí nejen na jasu L_b bezprostředního okolí rozlišovaného detailu, tj. na adaptačním jasu, ale také na velikosti pozorovaného detailu, udávané např. v úhlových minutách. Pro určitou velikost pozorovaného detailu s rostoucím adaptačním jasnem kontrastní citlivost vzrůstá. Optimálních hodnot se dosahuje přibližně v oblasti jasů 100 až 5 000 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Při vyšších jasech však kontrastní citlivost vlivem oslnění klesá.

Pro rozeznávání dvou ploch s rozdílným jasnem je důležitá hladina adaptačního jasu. Při nízkém adaptačním jasu, např. 0,0015 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$, je člověk schopen rozlišit plošky s poměrem jasů 1 : 3. Při vysokých adaptačních jasech, např. 10⁴ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$, je možné rozeznat plochy s poměrem jasů pouze 1 : 1,01. Snadnější je tedy rozlišovat malé kontrasty jasu při vysokém průměrném jasu zorného pole. Při práci, která vyžaduje rozlišovat malé kontrasty, se požaduje rovnoměrný jas zorného pole, který by se příliš nelišil od obou srovnávaných jasů. Ale např. pro vlastní zrakový výkon (čtení, psaní) je potřebné dosáhnout kontrastu co největšího, aby bylo možné rozeznat např. písmo tužky či pera na papíře. Pro delší práci však není vhodné vytvářet prostředí zcela jasově monotónní, neboť takové prostředí po určité době vede k únavě zraku a působí útlumově. Občasné určité střídání adaptačního jasu má z tohoto hlediska stimulační účinek. [6],[25],[L8].

4.3 Oslnění

Při návrhu kvalitního osvětlení je důležité použít svítidla, která nepůsobí rušivě na řidiče. Při použití svítidla s velmi intenzivní charakteristikou vyzařování a s malým úhlem stínění může docházet k oslnění. Oslnění můžeme ve venkovních prostorech hodnotit v závislosti na hodnotě činitele oslnění GR a velikosti prahového přírůstku TI. Při hodnocení oslnění na přechodu pro chodce je vhodnější použít parametr činitele oslnění GR, neboť při výpočtu prahového přírůstku v dnes běžně dostupných softwarech se předpokládá symetričnost osvětlovací soustavy. Především konstantní rozteč mezi sloupy a montážní výška svítidla. Osvětlovací soustava v okolí přechodu pro chodce většinou

bývá symetrická, ale včlenění doplňkového osvětlení přechodu do této osvětlovací soustavy symetričnost naruší.

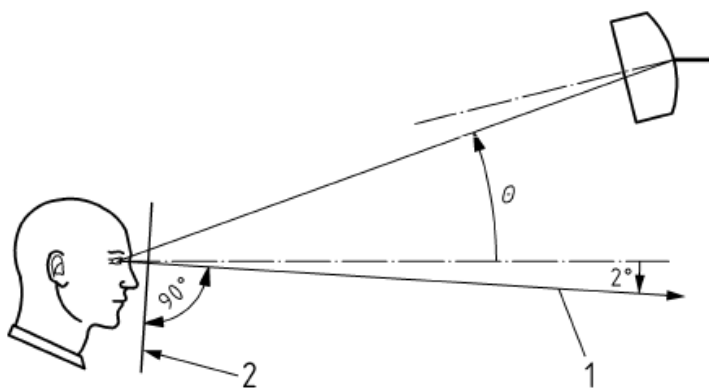
4.3.1 Činitel oslnění GR

Prímé oslnění svítidly venkovních osvětlovacích soustav se musí určovat metodou CIE-GR (CIE Glare Rating method) založené na vzorci:

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left(\frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (4)$$

kde L_{vl} je celkový závojevý jas v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ způsobený osvětlovací soustavou, je to součet jednotlivých závojevých jasů všech svítidel ($L_{vl} = L_{v1} + L_{v2} + \dots + L_{vn}$). Závojevý jas svítidla se vypočítá $L_v = 0(E_{\text{eye}}\Theta^2)$, kde E_{eye} je osvětlenost oka pozorovatele v rovině kolmé na směr pohledu (2° pod vodorovný směr), a Θ je úhel mezi směrem pohledu a směrem světla dopadajícího od svítidla.

L_{ve} je ekvivalentní závojevý jas pozadí v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Za předpokladu, že odraz pozadí je rovnoměrně rozptýlný, lze ekvivalentní závojevý jas pozadí vypočítat takto $L_{ve} = 0,035 \rho E_{\text{hav}} \pi^{-1}$, kde ρ je průměrný činitel odrazu a E_{hav} průměrná horizontální osvětlenost prostoru. [17]



1 – směr pohledu, 2 – rovina oka

Obr. 7 Úhel mezi směrem pohledu pozorovatele a směrem světla dopadajícího od svítidla [17]

4.3.2 Prahový přírůstek TI

Prahový přírůstek (TI) je měřítkem závojevého jasu způsobeného omezujícím oslněním ve vztahu k průměrnému jasu povrchu vozovky. Světelný tok zdroje ovlivňuje obě veličiny stejně. Prahový přírůstek naznačuje, že přestože osvětlení pozemních komunikací zlepšuje zrakové podmínky, je také zdrojem omezujícího oslnění, jehož stupeň závisí na typu svítidel, světelných zdrojů

a na geometrickém uspořádání. Nízkotlaké sodíkové výbojky a zářivky se normálně považují za zdroje s nízkým jasnem. Pro tyto zdroje a svítidla s nižším nebo stejným jasnem je možno připustit vyšší hodnoty.

Prahový přírůstek (TI) se vypočítá z následujících rovnic, nebo jejich matematických ekvivalentů:

$$TI = \frac{65}{(\text{průměr jas vozovky})^{0,8}} \times L_V \% \quad (5)$$

$$L_V = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (6)$$

kde:

počáteční *průměrný jas vozovky* (v cd/m^2) je průměrný jas vozovky vypočtený pro svítidla v novém stavu a pro světelné zdroje vyzařující počáteční světelný tok v lumenech;

L_V je ekvivalentní závojevý jas v kandelách na metr čtvereční;

E_k je osvětlenost (v luxech, založená na počátečním světelném toku zdroje v lumenech)

způsobená k -tým svítidlem v novém stavu na rovině kolmé ke směru pohledu a to ve výšce zraku pozorovatele;

Oko pozorovatele, ve výšce 1,5 metru nad úrovní vozovky, se postupně umísťuje do osy každého pruhu a podélně ve vzdálenosti v metrech $2,75(H - 1,5)$, kde H je montážní výška svítidla před výpočtovým polem (v metrech). Linie pohledu směřuje 1° pod vodorovnou rovinu a leží v podélné svislé rovině procházející okem pozorovatele.

θ_k je úhel ve stupních oblouku mezi směrem pohledu a přímkou vedenou od pozorovatele ke středu k -tého svítidla.

Součet se provede pro první svítidlo ve směru pozorování a pro svítidla za ním, až do vzdálenosti 500 m v každé řadě svítidel, a skončí se, když příspěvek závojevého jasu jakékoli svítidla v té řadě je menší než 2 % celkového závojevého jasu předchozích svítidel v té řadě. Svítidla nad mezní rovinou, která je vůči vodorovné rovině skloněna pod úhlem 20° , prochází okem pozorovatele a protíná komunikaci v příčném směru, se z výpočtu vyloučí.

Výpočet se zahájí s pozorovatelem v počáteční poloze, jak je popsáno výše, a opakuje se pro pozorovatele pohybujícího se dopředu v krocích, které jsou co do počtu i vzdálenosti stejné jako podélná rozteč bodů pro výpočet jasu. Postup se opakuje s pozorovatelem umístěným v ose každého jízdního pruhu, přičemž se v každém případě použije počáteční průměrný jas vozovky odpovídající poloze pozorovatele.

Největší nalezená hodnota TI je rozhodující hodnotou.

Tato rovnice platí pro $0,05 < \text{průměrný jas vozovky} < 5 \text{ cd/m}^2$ a $1,5 < \theta_k < 60$ úhlových stupňů.

Konstanta 10 v rovnici (6) platí pro pozorovatele starého 23 let. Konstanty pro jiná stáří se dají spočítat z formule:

$$9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right] \quad (7)$$

kde A je věk pozorovatele v rocích. [4]

4.4 Adaptační pásma

4.4.1 Adaptace

Adaptace je děj, při němž se lidské oko přizpůsobuje na různé hladiny osvětlenosti. Oko je schopné přizpůsobit se osvětleností svislé roviny proložené zornicí v rozmezí asi od 0,25 lx až do 10^5 lx. Takto velkými změnami osvětlenosti se oko přizpůsobuje jednak změnou citlivosti zornice, jednak změnou citlivosti fotoreceptorů sítnice a též změnou velikosti vjemových polí sítnice. Průměr zornice se maximálně mění asi od 1,8 do 7,5 mm. Změna průměru zornice trvá asi 370 ms. Hlavním adaptačním dějem je však fotochemický děj. Dochází při něm k rozkladu zrakových pigmentů. Rychlost rozkladu pigmentu závisí jak na parametrech předcházejícího osvětlení, jímž se oko přizpůsobilo, tak na jasu a vlnové délce nového světelného podnětu. Při adaptaci oka z nižšího jasu na vyšší se vlivem rozkladu fotopigmentů zmenšuje citlivost fotoreceptorů. Děj je dokončen asi do jedné minuty a pak doznívá asi 10 minut. Adaptace z vyšší hodnoty jasu na nižší vyžaduje naopak vytvoření zásob fotopigmentů, a proto pochod trvá od několika minut při vyšších hodnotách osvětlenosti až i hodinu při nízkých hodnotách osvětlenosti.

Mnohem dokonalejším adaptačním mechanismem je zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hladinách osvětlenosti, a naopak jejich zvětšování při nízkých hladinách osvětlenosti.

Důležitým adaptačním mechanismem je i adaptace na barvy, která zajišťuje určitou stálost vnímání barevných tónů i při poměrně velkých změnách spektrálního složení přírodního a určitého umělého světla.

Zrakový vjem nevzniká ani nezaniká současně s popudem, ale s určitým časovým zpožděním. Rychlost vnímání závisí na jasu předmětu v zorném poli a zvyšuje se s nárůstem jasu asi do $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Při jasu $0,15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ je potřebný čas ke vzniku vjemu asi 1 s, zatímco při jasu $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ asi 0,5 s. Tato okolnost je důležitá zvláště pro osvětlování dopravních cest, neboť nižší jasy negativně ovlivňují reakční dobu řidiče.

4.4.2 Požadavky legislativy

Na adaptaci lidského oka pamatuje i legislativa pro osvětlování venkovních prostorů. V ČSN EN 13201-2/Z1 v národní dodatku NA.3: Zřizování adaptačních pásem

Adaptační pásma se zřizují na komunikacích zatřízených do tříd osvětlení ME a MEW a udržovanou hodnotou průměrného jasu, který je větší než $0,75 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Adaptační pásma se řeší postupným přechodem na nižší hladinu osvětlení. Nejmenší délky dílčích adaptačních úseků jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Adaptační pásma pro komunikace

Jas povrchu komunikace $L \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (udržovaná hodnota)	Délky dílčích úseků s jasem povrchu $L \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (udržovaná hodnota)			Celková délka adaptačního pásma [m]
	1	0,5	0,3	
2,0	100	100	150	350
1,5	50	100	150	300
1,0	-	100	150	250

Dalším dokumentem, který je spjatý s adaptačními zónami na komunikacích, je: Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15, Osvětlování pozemních komunikací, Dodatek č. 1 – Přisvětlování přechodů. V tomto dokumentu jsou popsány možnosti, kdy je možné vybudovat přisvětlení přechodu pro chodce. Jeden z hlavních parametrů je, že pozemní komunikace musí být osvětlena před i za přechodem v úrovni předepsané normou ČSN EN 13201-2 v délce závislé na povolené rychlosti. Tato délka, měřená v ose pozemní komunikace od osy přechodu, je v každém směru nejméně:



- 50 m pro dovolenou rychlost nejvýše 30 km/h,
- 100 m pro dovolenou rychlost vyšší než 30 km/h ale nepřesahující 50 km/h,
- 150 m pro dovolenou rychlost vyšší než 50 km/h.

Jelikož jsou na přechodu pro chodce vyšší jasy než v jeho okolí a jiné, než na které je řidič adaptován, je potřeba, aby byly vytvořeny tyto adaptační pásma na komunikaci, na které je přisvětlení přechodu instalováno. [14],[25], [26]. [L5]

5 Analýza dopravních nehod v Ostravě s účastí chodců

Tato část má za cíl vytvořit formou komentovaných tabulek a grafů přehledný materiál týkající se statistik dopravních nehod chodců a jejich následků na území okresu Ostrava.

Pro potřeby této části byly použity, jako zdroj dat, statistiky dopravní nehodovosti a jejich následků Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky (ŘSDP PP ČR).

Jelikož doposud žádná organizace nevydala statistické vyhodnocení nehodovosti v závislosti na srážkách s chodcem na území okresu Ostrava, rozhodl se autor vytvořit přehledné pojednání o vlivech, které ovlivňují dopravní nehodu při srážce s chodcem. Tato část je zaměřena především na vizuální podmínky řidiče a chodce.

Data k vytvoření této části byla čerpána z individuálních protokolů o dopravní nehodě. Tento formulář obsahuje 59 položek, které se dále větví a poskytují maximální informovanost pro čtenáře tohoto protokolu.

Nehodová data jsou nejprve sbírána orgány vyšetřujícími nehodu, tj. Policií ČR. Registrace nehody Policií ČR je podmíněna překročením limitu hmotné škody 100 tisíc Kč nebo osobními následky na zdraví. Součástí spisu je standardizovaný Formulář evidence nehod v silničním provozu (tzv. protokol). Údaje z tohoto protokolu jsou po centrálním zpracování ukládány do databáze nehodovosti. Souhrnná nehodová data jsou pak vydávána Ředitelstvím služby dopravní policie Policejního prezidia ČR.



Obr. 8 Formulář evidence nehody v silničním provozu („protokol“)

Data ze všech protokolů roků 2009-2013 byla exportována do souboru Microsoft Excel v řádkové podobě pro následnou analýzu.

Pro každou položku byl vytvořen filtr tak, aby uživatel mohl vybrat jen dopravní nehody, které chce podrobit analýze. Filtrováním jednotlivých položek se autor dostával k cenným informacím o počtu dopravních nehod závislých na několika proměnných.

5.1 Počet dopravních nehod v ČR a Ostravě

Tab. 9 Počet dopravních nehod

	ČR	Ostrava	%
2009	74 815	3 039	4,1%
2010	75 522	2 713	3,6%
2011	75 137	2 614	3,5%
2012	81 404	2 652	3,3%
2013	84 412	2 784	3,3%
CELKEM	391 290	13 802	3,5%

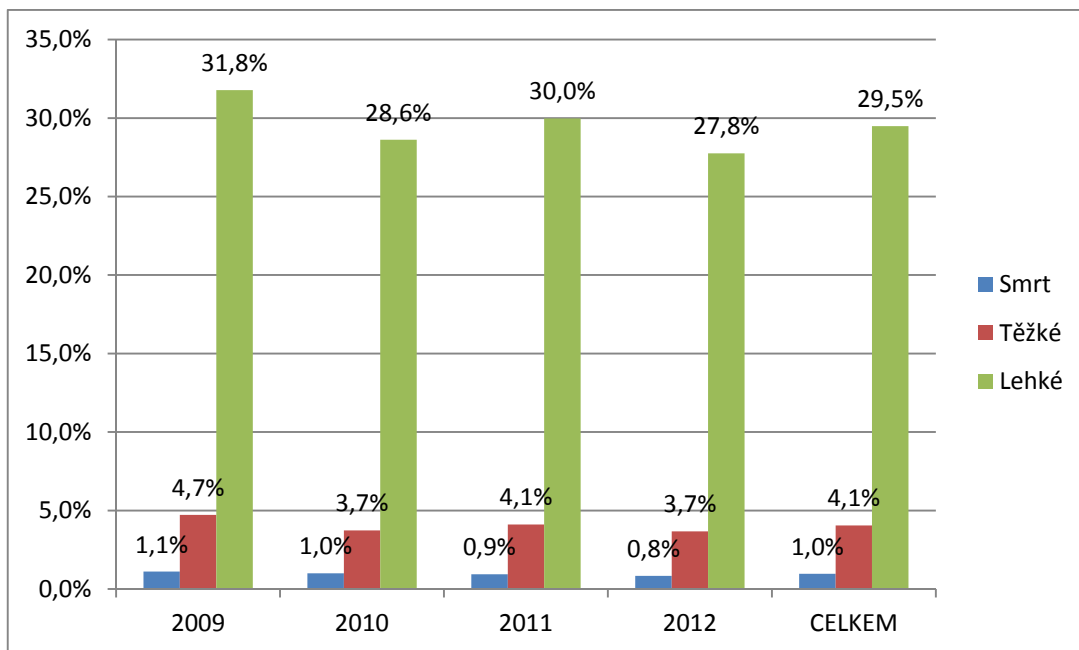
Tab. 9 popisuje srovnání počtu dopravních nehod, u kterých asistovala Policie ČR za jednotlivé roční období. Nejvyšší počet dopravních nehod za sledované období 2009-2012 se v ČR stal roku 2012. Paradoxně v relativním srovnání je množství dopravních nehod s chodcem v roce 2012 v Ostravě nejnižší.

5.2 Následky dopravních nehod v ČR a Ostravě

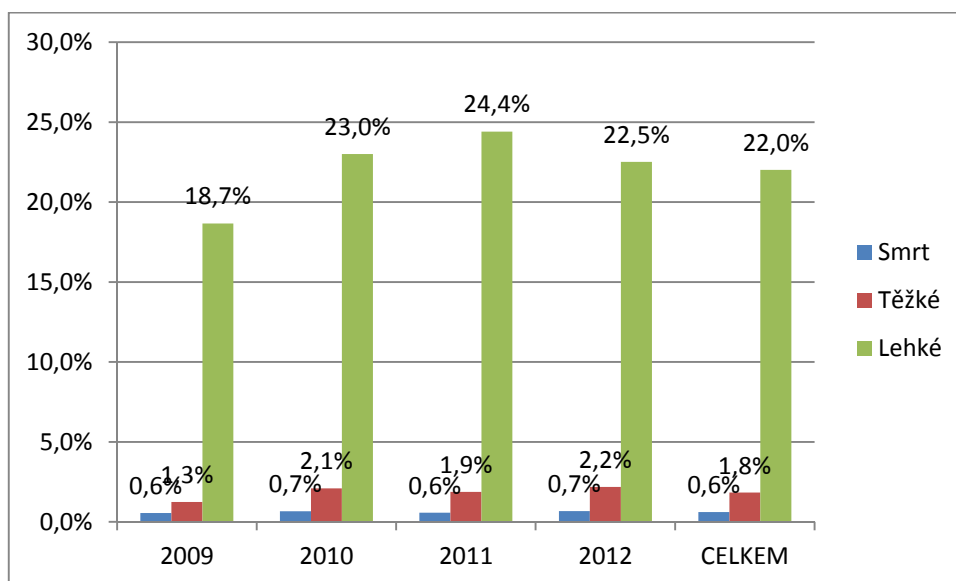
Tab. 10 popisuje srovnání dopravních nehod za období 2009-2012. Dopravní nehody jsou rozděleny podle závažnosti následků na zdraví účastníka na dopravní nehody s usmrcením, těžkým nebo lehkým zraněním účastníka. Nejčastěji při dopravních nehodách dochází k lehkým zraněním.

Tab. 10 Následky dopravních nehod

	ČR			Ostrava		ČR		Ostrava		ČR		Ostrava	
	Celkem	Smrt	%	Smrt	%	Těžké	%	Těžké	%	Lehké	%	Lehké	%
2009	74 815	832	1,1%	17	0,6%	3536	4,7%	38	1,3%	23777	31,8%	567	18,7%
2010	75 522	753	1,0%	18	0,7%	2823	3,7%	57	2,1%	21610	28,6%	624	23,0%
2011	75 137	707	0,9%	15	0,6%	3092	4,1%	49	1,9%	22519	30,0%	638	24,4%
2012	81 404	681	0,8%	18	0,7%	2986	3,7%	58	2,2%	22590	27,8%	597	22,5%
CELKEM	306 878	2 973	1,0%	68	0,6%	12 437	4,1%	202	1,8%	90 496	29,5%	2 426	22,0%



Obr. 9 Graf relativního počtu dopravních nehod v období 2009-2012 s rozdělením dle závažnosti zranění účastníka v ČR



Obr. 10 Graf relativního počtu dopravních nehod v období 2009-2012 s rozdělením dle závažnosti zranění účastníka v okrese Ostrava

Z Obr. 9 a Obr. 10 i Tab. 10 je zřejmé, že při všech dopravních nehodách v okrese Ostrava je nižší podíl usmrcených, těžce zraněných i lehce zraněných osob než je tomu na území celé ČR.

5.3 Počet dopravních nehod s účastí chodce v Ostravě

Tab. 11 Počet dopravních nehod v Ostravě

	ČR		Ostrava		
	S chodcem	%	Celkem	S chodcem	%
2009	3663	4,9%	3 039	178	5,9%
2010	2481	3,3%	2 713	169	6,2%
2011	3402	4,5%	2 614	166	6,4%
2012	3571	4,4%	2 652	170	6,4%
2013	3442	4,1%	2 784	151	5,4%
CELKEM	16 559	4,3%	13 802	834	6,0%

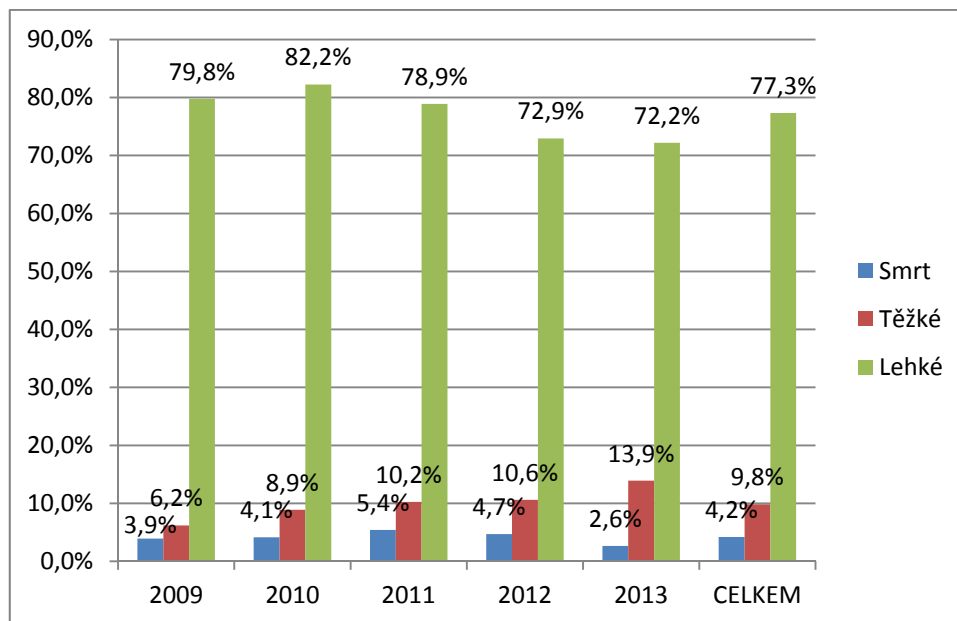
Tab. 11 ukazuje procentuální množství dopravních nehod v ČR a v okrese Ostrava. Při porovnání celé ČR za období 2009-2012 a okresu Ostrava za stejné období je zřejmé, že v Ostravě je poměr vyšší.

5.4 Následky dopravních nehod s účastí chodce okrese Ostrava

Tab. 12 Následky dopravních nehod s účastí chodce v okrese Ostrava

	Celkem	Smrt	%	Těžké	%	Lehké	%
2009	178	7	3,9%	11	6,2%	142	79,8%
2010	169	7	4,1%	15	8,9%	139	82,2%
2011	166	9	5,4%	17	10,2%	131	78,9%
2012	170	8	4,7%	18	10,6%	124	72,9%
2013	151	4	2,6%	21	13,9%	109	72,2%
CELKEM	834	35	4,2%	82	9,8%	645	77,3%

Za sledované období 2009-2013 došlo k usmrcení 35 chodců na území okresu Ostrava. Nejvíce chodců bylo usmrceno v roce 2011, kdy na komunikacích umřelo 9 osob. Nejméně chodců bylo usmrceno v roce 2013. A to celkem 4 osoby. Nejvyšší podíl druhu zranění chodce při dopravní nehodě je lehké zranění. V průměru jde o 77,3 % lehce zraněných chodců.



Obr. 11 Graf relativního počtu dopravních nehod v období 2009-2013 s rozdělením dle závažnosti zranění chodce v ČR

5.5 Zastavěnost lokality události dopravní nehody

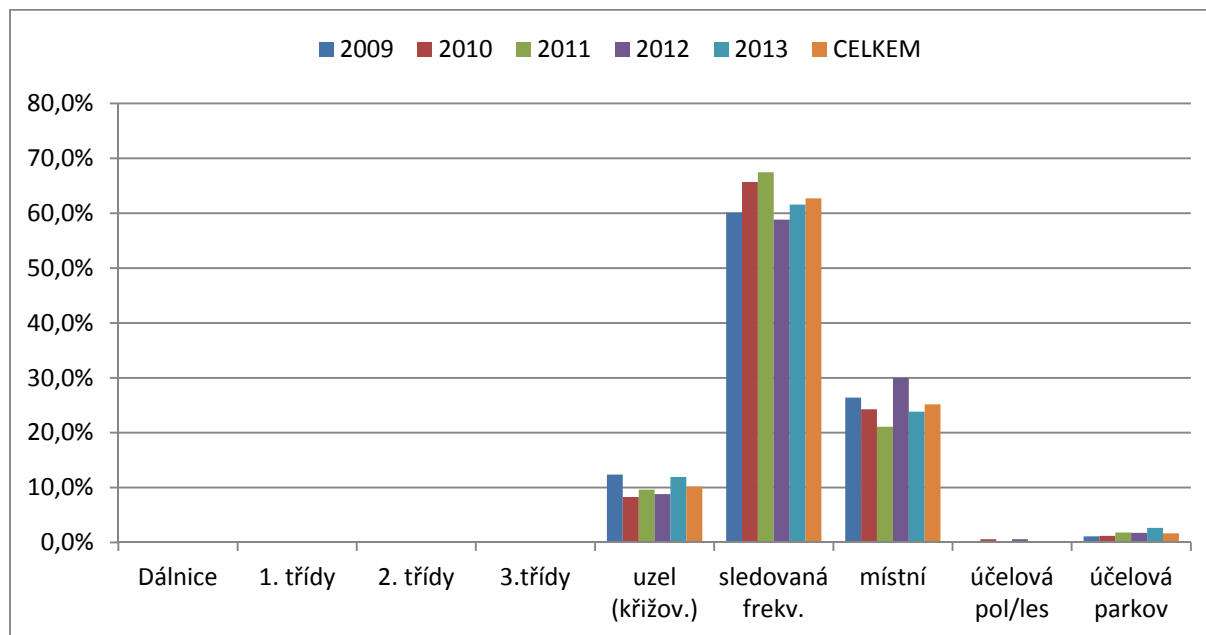
Tab. 13 Tabulka počtu dopravních nehod v okrese Ostrava s rozdělením podle zastavěnosti

	Celkem	V obci	%	Mimo	%
2009	178	171	96,1%	7	3,9%
2010	169	157	92,9%	12	7,1%
2011	166	159	95,8%	7	4,2%
2012	170	165	97,1%	5	2,9%
2013	151	147	97,4%	4	2,6%
CELKEM	834	799	95,8%	35	4,2%

Převážná většina všech dopravních nehod se stala v obci. V průměru za sledované období šlo o 95,8 %. Tato hodnota je velice přibližná celorepublikovému údaji za rok 2012, který je 91 %. Hodnota pro okres Ostrava je za rok 2012 vyšší, a to 97,1 %. Vyšší hodnotu je možno přisuzovat faktu, že většina komunikací v okrese Ostrava je na území obce (v intravilánu).

Nejvíce dopravních nehod s účastí chodce na území okresu Ostrava se stalo na komunikaci „sledované“.

5.6 Třída komunikace události dopravní nehody



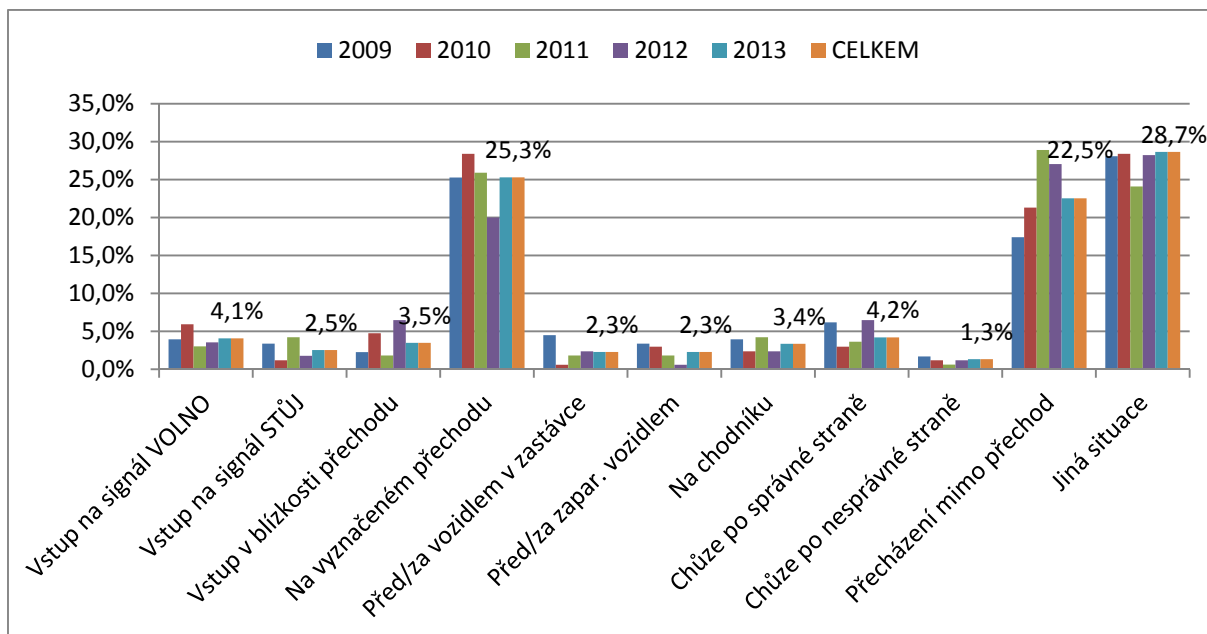
Obr. 12 Graf počtu dopravních nehod s účastí chodce dle třídy komunikace

Jde o komunikaci, která je pro dopravu velice důležitá a předpokládá se zde vysoká frekvence vozidel. Tento typ komunikace zahrnuje: dálnice, 1-3. třídy, místní komunikace a křižovatky). Jelikož komunikace sledovaná není již více definována, nelze spolehlivě určit, který typ komunikace je nebezpečnější.

5.7 Situace v místě nehody

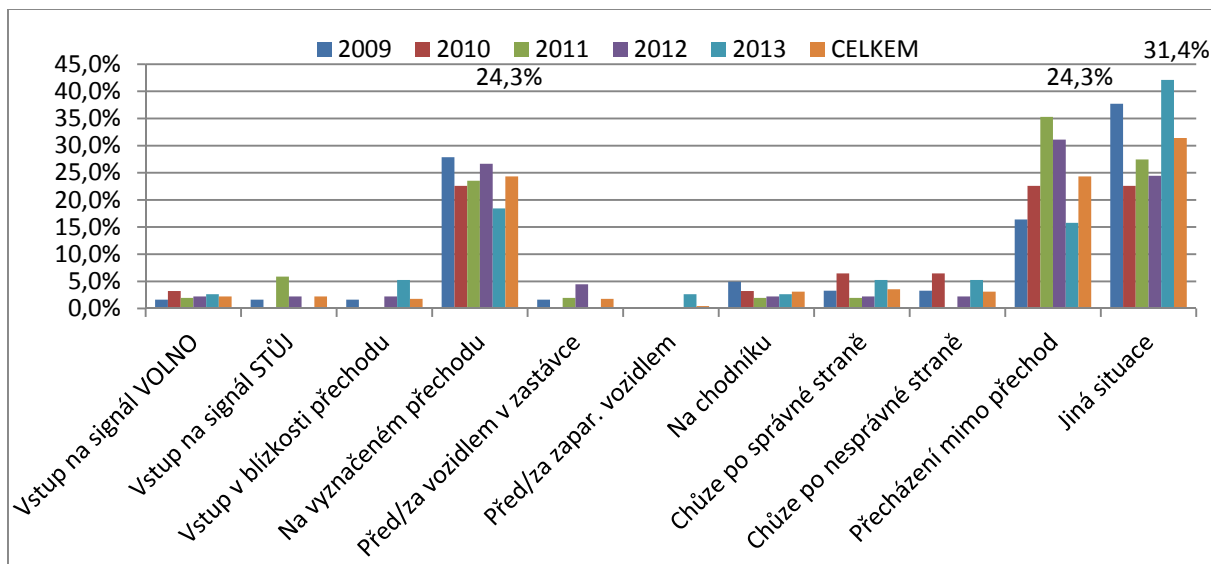
Tab. 14 Tabulka možných situací v místě nehody

	Celkem	Vstup na signál VOLNO	%	Vstup na signál STUJ	%	Vstup v blízkosti přechodu	%	Na vyznačeném přechodu	%	Před/za vozidlem v zastávce	%	Před/za zapar. vozidlem	%	Na chodníku	%	Chůze po správné straně	%	Chůze po nesprávné straně	%	Přecházení mimo přechod	%	Jiná situace	%
2009	178	7	3,9 %	6	3,4 %	4	2,2 %	45	25,3 %	8	4,5 %	6	3,4 %	7	3,9 %	11	6,2 %	3	1,7 %	31	17,4 %	50	28,1 %
2010	169	10	5,9 %	2	1,2 %	8	4,7 %	48	28,4 %	1	0,6 %	5	3,0 %	4	2,4 %	5	3,0 %	2	1,2 %	36	21,3 %	48	28,4 %
2011	166	5	3,0 %	7	4,2 %	3	1,8 %	43	25,9 %	3	1,8 %	3	1,8 %	7	4,2 %	6	3,6 %	1	0,6 %	48	28,9 %	40	24,1 %
2012	170	6	3,5 %	3	1,8 %	11	6,5 %	34	20,0 %	4	2,4 %	1	0,6 %	4	2,4 %	11	6,5 %	2	1,2 %	46	27,1 %	48	28,2 %
2013	151	6	4,0 %	3	2,0 %	3	2,0 %	41	27,2 %	3	2,0 %	4	2,6 %	6	4,0 %	2	1,3 %	3	2,0 %	27	17,9 %	53	35,1 %
CELKEM	834	34	4,1%	21	2,5%	29	3,5%	211	25,3%	19	2,3%	19	2,3%	28	3,4%	35	4,2%	11	1,3%	188	22,5%	239	28,7%



Obr. 13 Graf situace v místě nehody při účasti chodce

Obr. 13 ukazuje nejčastější místa, kde došlo ke srážce s chodcem. Opomeneme-li položku „Jiná situace“, nejčastěji se stávaly dopravní nehody s chodcem na přechodu pro chodce a mimo přechod pro chodce (20 m a více). Přechod pro chodce by měl chodci poskytnout bezpečné přejítí vozovky. Z Obr. 13 je však patrné, že i chodec na vyznačeném přechodu je vystaven vysokému nebezpečí. Proto je nutné, aby chodec dbal na svou vlastní bezpečnost i na přechodu pro chodce.



Obr. 14 Graf situace v místě nehody při účasti chodce v noci

Z Obr. 14 je zřetelné, že poměr mezi jednotlivými situacemi je v těch nejčastějších případech víceméně stejný i v nočních hodinách.

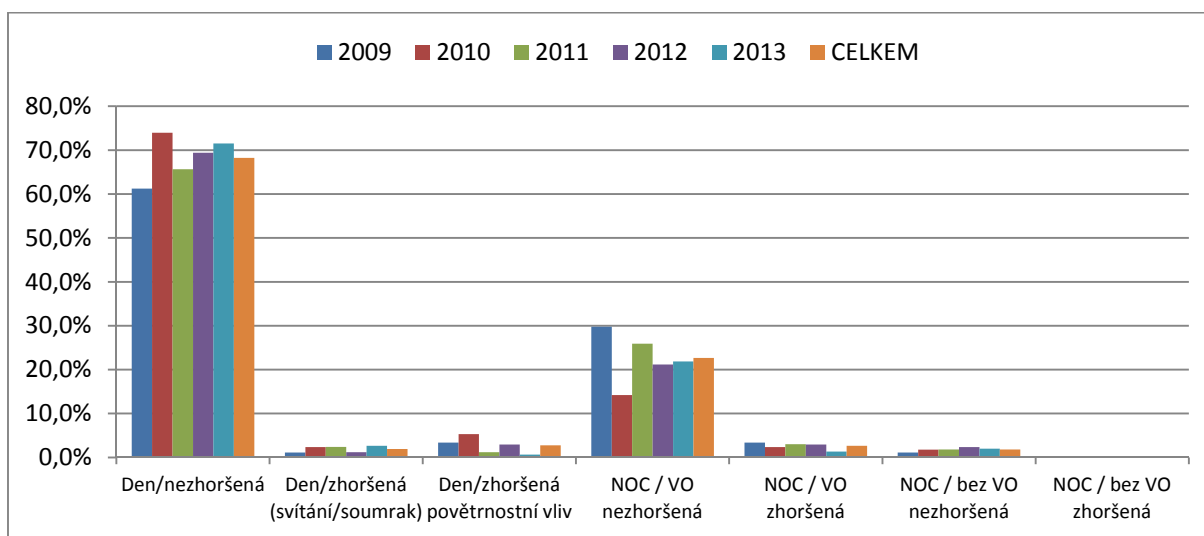
5.8 Smyk v místě nehody

Tab. 15 Tabulka výskytu smyku při dopravní nehodě s chodcem

	Celkem	ANO	%	NE	%
2009	178	1	0,6%	177	99,4%
2010	169	3	1,8%	166	98,2%
2011	166	1	0,6%	165	99,4%
2012	170	3	1,8%	167	98,2%
2013	151	2	1,3%	149	98,7%
CELKEM	834	10	1,2%	824	98,8%

Z Tab. 15 je patrné, že téměř všechny dopravní nehody s účastí chodce se staly, aniž by řidič vozidla prudce brzdil a vyvolal tak smyk vozidla. Tato skutečnost také svědčí o délce reakční doby řidiče, neboť je pravděpodobné, že řidič rozeznal chodce v nedostatečně krátké vzdálenosti a neměl čas před srážkou ani snížit rychlost vozidla prudkým brzděním. Tento fakt poukazuje na nutnost viditelnosti chodce na komunikaci.

5.9 Viditelnost v místě nehody



Obr. 15 Graf viditelnosti v místě nehody při účasti chodce

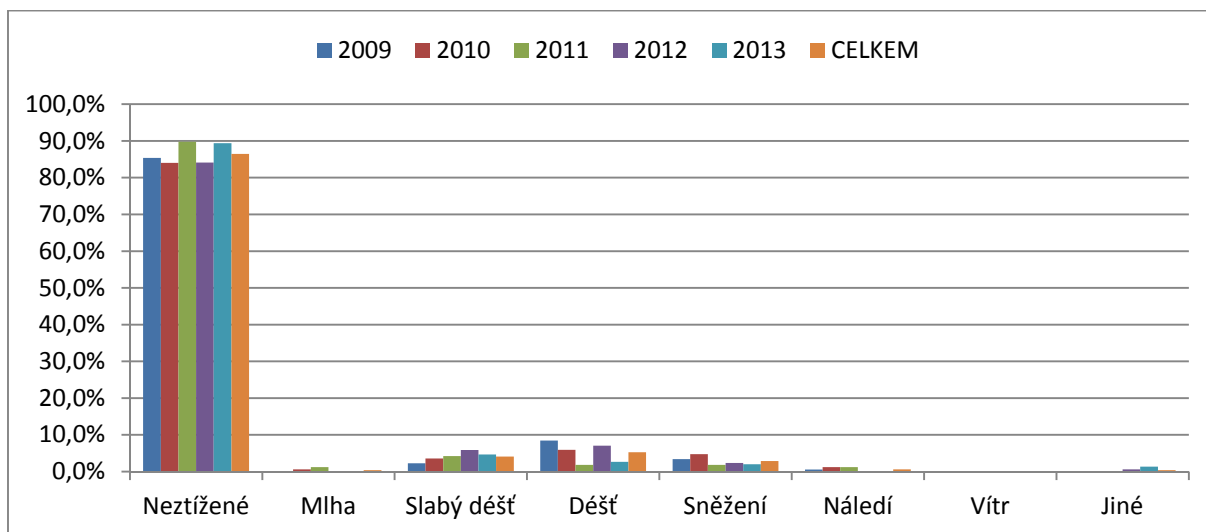
Nejvíce dopravních nehod s chodcem se stalo ve dne (72,9 %). V noci se stalo zbývajících 27,1 % dopravních nehod. Vzhledem ke zjištění, že při dopravních nehodách nedochází ke smyku, bylo předpokládáno, že řidič není včas informován o možnosti srážky vlivem špatné viditelnosti. Z grafu však vyplývá, že nejvíce dopravních nehod se stává při nezhoršené viditelnosti. Z tohoto důvodu bude také vyšetřeno, za jakých povětrnostních podmínek dochází k dopravním nehodám s chodci.

5.10 Povětrnostní podmínky v době dopravní nehody

Většina dopravních nehod se stala v období, kdy viditelnost a jízdní podmínky nebyly ovlivněny počasím. Z Obr. 16 vyplývá, že nejvíce dopravních nehod se stalo za neztížených povětrnostních podmínek. V některých případech (3-6 % ze všech dopravních nehod s chodcem) byly podmínky horší, a to vlivem deště a sněžení.

Zjištění, že povětrnostní podmínky jsou při nehodě dobré, vylučuje fakt, že by většina řidičů nezabránila srážce s chodcem vlivem špatného počasí.

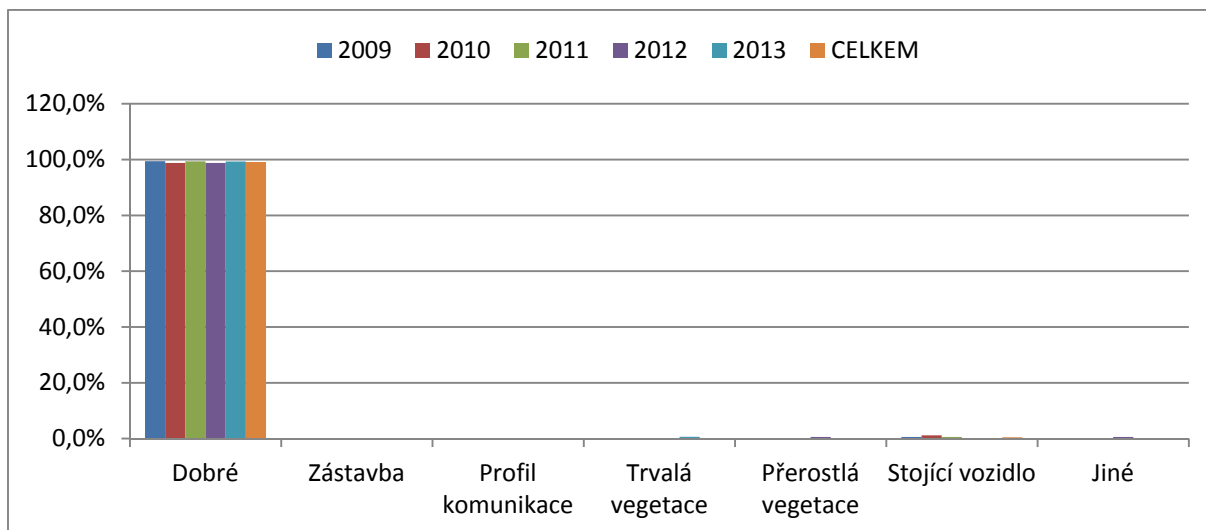
Včasné upozornění na možnost srážky s chodcem mohou řidiči i chodci zamezit také špatné rozhledové poměry. Proto bude v další části tato problematika prozkoumána.



Obr. 16 Graf počtu dopravních nehod s chodcem v závislosti na povětrnostních podmínkách.

5.11 Rozhledové poměry v místě dopravní nehody s chodcem

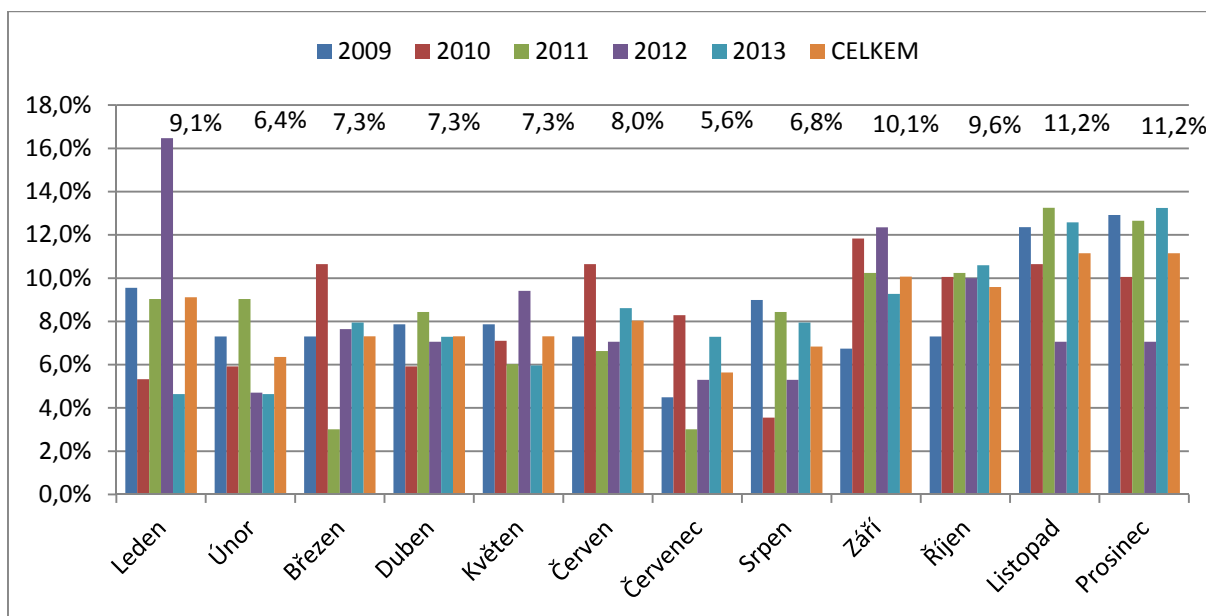
Z Obr. 17 je jednoznačné, že nejvíce dopravních nehod se stává při dobrých rozhledových podmínkách. Řidič i chodec tedy mají včasnou informaci o možnosti blížící se srážky.



Obr. 17 Graf počtu dopravních nehod s chodcem v závislosti na rozhledových podmínkách.

Z výše popsaných rozborů vyplývá, že řidič i chodec ve většině případu neměli ztížené rozhledové poměry o prostoru, kde se dopravní nehoda stala a ani tyto vizuální podmínky nebyly ztíženy povětrnostními či světelnými podmínkami.

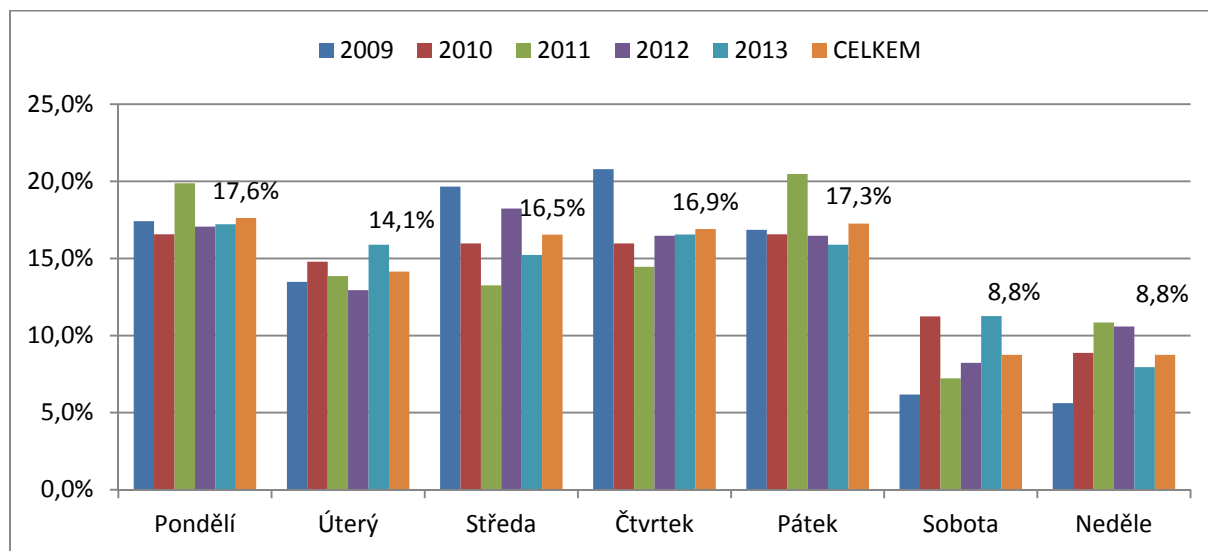
5.12 Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – měsíční srovnání



Obr. 18 Graf časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – měsíční srovnání

V Obr. 18 jsou vyneseny relativní počty dopravních nehod za jednotlivé měsíce za období 2009-2013. Nad sloupce je u každého měsíce v roce vypsána průměrná hodnota za sledované období. Při tomto srovnání dopravních nehod s chodci na území okresu Ostrava za jednotlivé měsíce se v nadprůměrných hodnotách ($>8,3\%$) pohybují podzimní a zimní měsíce. Naopak nejméně dopravních nehod se stalo v červenci.

5.13 Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – denní srovnání

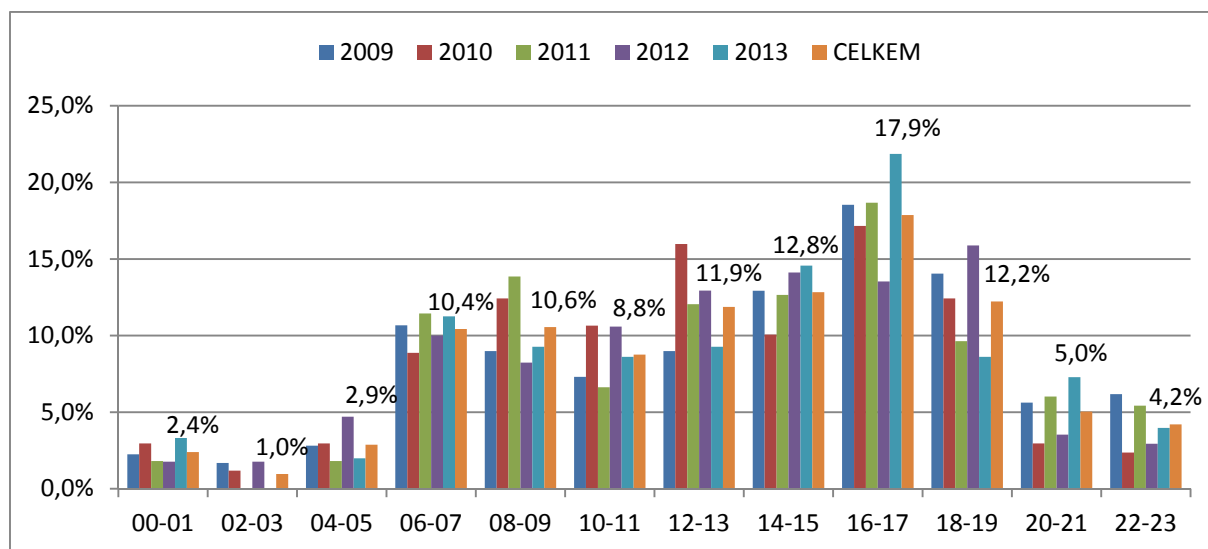


Obr. 19 Graf časového srovnání počtu dopravních nehod s chodci – denní srovnání

Nejméně dopravních nehod se v průměru za období 2009-2012 stalo o víkendových dnech. Nejvíce pak v pondělí (17,6 %). Obr. 19 odkazuje na pravděpodobnost srážky s chodcem v závislosti na frekvenci osob na komunikacích, neboť se předpokládá, že o pracovních dnech je výskyt chodců a vozidel na komunikacích vyšší než o víkendu.

5.14 Časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – hodinové srovnání

Obr. 20 popisuje četnost dopravních nehod v závislosti na časovém období, a to dvouhodinovém úseku celého dne. Průběh sloupcového grafu koresponduje s frekvencí výskytu chodců a vozidel na komunikacích. Nejvíce dopravních nehod s chodci v období 2009-2012 v okrese Ostrava se stalo v časovém úseku 16:00-17:59. [12], [13], [18],[19].



Obr. 20 Graf časové srovnání počtu dopravních nehod s chodci – hodinové srovnání

6 Odraznost chodců

Důležitý parametr pro bezpečnost chodců na silnici je odraznost jejich oděvů či doplňků. Lidské oko vnímá jas předmětů. Výše jasů je závislá na odraznosti materiálu oblečení a dopadajícím světelném toku, tedy osvětlenosti oblečení chodce.

Jas dokonale rozptýlně odrážející plochy nezávisí na úhlu dopadu světelných paprsků. Podle rovnice

$$M = L_0 \cdot \Omega_e \quad (8)$$

M – světlení (lm/m^2)

L_0 – jas plochy ve vztažném směru (cd/m^2)

Ω_e – ekvivalentní prostorový úhel (sr)

je souvislost mezi světlením M a konstantním jasnem L ideálně rozptýlně vyzařující plošky určena výrazem

$$M = \pi \cdot L \quad (9)$$

Protože mezi osvětleností E a světlením M sledované odrážející plochy, charakterizované činitelem odrazu ρ , platí vztah

$$M = \rho \cdot E \quad (10)$$

Pro difuzně odrážející povrch platí významná souvislost mezi jasnem a osvětleností povrchu

$$M = \rho \cdot E = \pi \cdot L \quad (11)$$

Uvedený vztah umožňuje ze známých hodnot osvětlenosti a jasů stanovit činitel odrazu difuzně odrážejícího povrchu.

$$\rho = \frac{\pi \cdot L}{E} \quad (12)$$

V praxi ovšem neexistují ideální rozptylovače. U většiny povrchů vzniká smíšený odraz. Při světelně technických výpočtech se nejčastěji využívá vlastností ideálně rozptýlené plochy, neboť se tím výpočty podstatně zjednoduší. Pro analýzu činitele odrazu oděvů náhodných chodců je toto zjednodušení využito. Jde především o tkaniny, které se vlastnostem ideálního rovnoměrného rozptylovače velice blíží. Chyba, která se při výpočtech vyskytne, je akceptovatelná, neboť jde především o měření, které má přiblížit danou problematiku.

Ze vztahu (12) je zřejmé, že pokud se osvětlenost na posuzovaný povrch s neměnným činitelem odrazu zvýší, například použitím výkonnějšího svítidla, zvýší se i jas povrchu. Pokud se zvýší odraznost povrchu oděvu chodce použitím světlejšího materiálu, jas bude vyšší také.

Tab. 16 Odraznosti základních povrchů nalezneme v legislativě pro denní osvětlení [20]

Druh povrchů	Činitel odrazu světla ρ
bílý	0,75 - 0,80
světle žlutý	0,60 - 0,70
tmavě žlutý	0,50 - 0,60
světle červený	0,40 - 0,50
tmavě červený	0,15 - 0,30
světle zelený	0,45 - 0,65
tmavě zelený	0,05 - 0,20
světle modrý	0,40 - 0,60
tmavě modrý	0,05 - 0,20
hnědý	0,12 - 0,25
světle šedý	0,40 - 0,60
tmavě šedý	0,15 - 0,20
černý	0,01 - 0,03
asfaltový povrch	0,10
betonová dlažba	0,30
zeleň, tráva	0,05 - 0,10

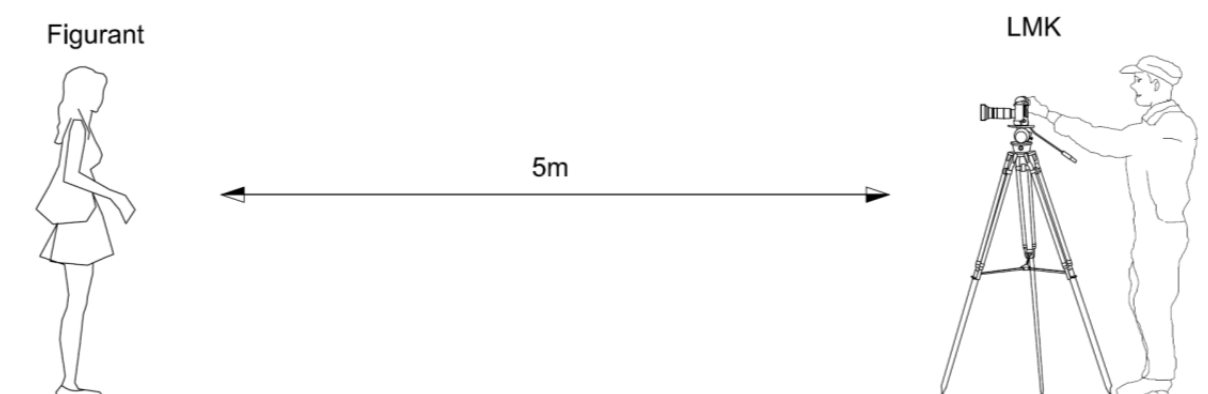
Při posuzování jasových poměrů na přechodu pro chodce je důležitý kontrast mezi chodcem a pozadím – vztah (3). Pokud by bylo počítáno ve jmenovateli vzorce (3) bez absolutních hodnot, bylo by zjištěno, jestli se jedná o negativní či pozitivní kontrast.

$$Kontrast = \frac{L_a - L_b}{L_b} \quad (13)$$

Osvětlené přechody pro chodce mají stálé světelné parametry. Vyzařovaný světelný tok ze svítidla je daný především výkonem a typem světelného zdroje. Při výběru svítidla a světelného zdroje se řídíme předpisem TKP, kdy dle posuzovaných parametrů určíme, na jakou osvětlenost se má prostor přechodu pro chodce osvětlit. Pro ověření splnění požadavků předpisu se použije software pro výpočet osvětlenosti. Jelikož je osvětlenost v prostoru přechodu pro chodce neměnná, bude vykazovat vyšší jas chodec, který má vyšší odraznost oděvu.

Měření

Na základě důležitosti tohoto parametru byla ve spolupráci s Městskou policií Ostrava a společností BESIP provedena měření poměrné odraznosti oděvů chodců. Měření bylo provedeno v nočních hodinách, aby byla vyloučena proměnlivost osvětlení. Místo pro měření bylo vybráno na rušné ulici v Ostravě Porubě. Důležité bylo najít prostor s dostatečně homogenní svislou osvětleností. Tento prostor se nacházel v části ulice, kde okolo daného místa byla rovnoměrně umístěna svítidla s vhodnou vyzařovací charakteristikou. Do tohoto místa se vždy postavil chodec, který byl měřen. Figurant byl umístěn vždy 5 m od jasového analyzátoru LMK. Údaje o jasových poměrech byly zaznamenávány digitálním fotoaparátem CANON EOS 350D. Hodnoty osvětlenosti byly měřeny luxmetrem METRA Blansko PU550.



Obr. 21 Obrázek popisu měření

Termín měření byl záměrně vybrán v zimním měsíci lednu, kdy za rok 2012 se v tomto měsíci stalo nejvíce dopravních nehod s chodcem se zraněním či usmrčením (popsáno v úvodu práce).

Měření probíhalo od 18. do 20. hodiny, což koresponduje se statisticky nejnebezpečnějším nočním časovým úsekem za rok 2012.

Měřicí přístroje

METRA Blansko PU550 – Digitální luxmetr je určen k měření osvětlenosti. K měření osvětlenosti slouží čidlo s křemíkovou fotodiodou umístěnou v pouzdru ve tvaru sondy. Měřicí sonda je vybavena kosinovým nástavcem pro korekci směrové chyby měřeného záření. Součástí čidla umístěného v měřicí sondě je soustava optických filtrů zajišťujících spektrální citlivost blízkou spektrální citlivosti lidského oka. [21]



Obr. 22 Obrázek digitálního luxmetru METRA Blansko PU550 [22]

Jasový analyzátor LMK mobile advanced – jde o soustavu digitálního fotoaparátu CANON EOS 350D a softwaru pro vyhodnocování jasů LMK2000. Digitální fotoaparát musí být kalibrován tak, aby bylo možné z pořízených fotografií správně odečíst hodnotu jasů. Po pořízení fotografie se data zkopírují do počítače s nainstalovaným softwarem LMK2000. V tomto softwarovém prostředí je možné nastavit vyhodnocení v analyzované ploše a zjistit hodnotu jasů plochy.

Aby bylo možné ihned při měření určit hodnotu jasů oděvu, byl při měření použit i jasoměr Konica Minolta LS 100.



Obr. 23 Příklad jasoměru LS100 a jasového analyzátoru Canon EOS 350D [23], [24]

Postup při měření:

- byla změřena svislá osvětlenost na oděvech chodce z pohledu jasového analyzátoru
- byl zachycen jas oděvů pomocí jasového analyzátoru LMK
- byl změřen jas oděvů pomocí jasoměru Konica Minolta LS100



Obr. 24 Fotografie z měření

Měření se zúčastnilo 28 osob, které byly náhodně vybrány z chodců jdoucích po ulici. Z tohoto počtu bylo 17 osob mužů a 11 osob byly ženy. Průměrný věk figurantů byl 31 let. Nejstarší účastník měl 71 let a nejmladší 1 rok.

Hodnocení odraznosti

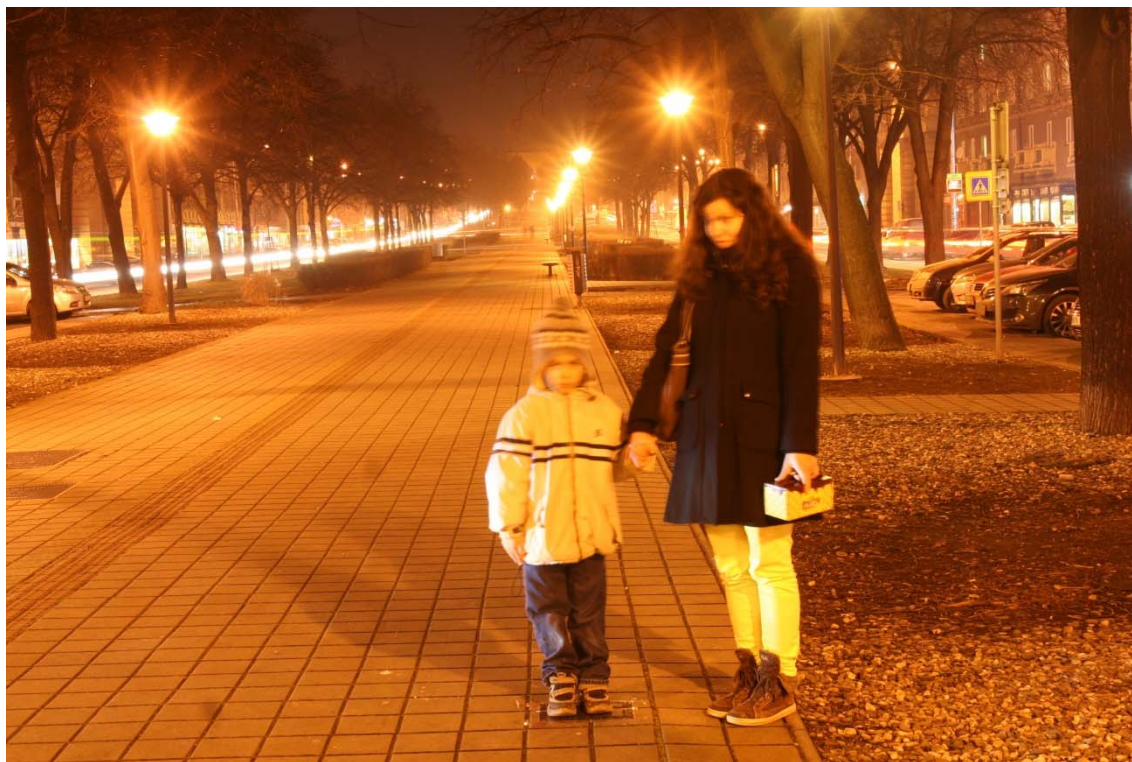
Ze známých hodnot osvětlenosti a jasu byla vyhodnocena odraznost dle vztahu:

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \quad (14)$$

Oděv chodců byl posuzován na dvou místech:

NAHOŘE – horní polovina těla (bunda, mikina, kabát)

DOLE – dolní polovina těla (kalhoty, sukně)



Obr. 25 Fotografie měřené osoby – Figurant 17.B



Obr. 26 Jasová analýza měřené osoby - Figurant 17.B

Jednotlivé hodnoty poměrné odraznosti oděvů náhodných figurantů jsou známy. Z Obr. 29 je viditelné, že hodnoty poměrné odraznosti jsou opravdu rozmanité. Pro všeobecné posouzení odraznosti oděvů je vhodné znát průměrnou hodnotu, kterou je možné posléze využít v dalších aplikacích. Pro výpočet aritmetického průměru je použita rovnice:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (15)$$

kde: x – jednotlivé hodnoty proměnné

n – rozsah výběrového souboru (počet hodnot proměnné)

Vzhledem k tomu, že průměr se stanovuje ze všech hodnot proměnné, nese maximum informací o výběrovém souboru. Na druhé straně je však velmi citlivý na tzv. odlehlá pozorování, což jsou hodnoty, které se mimořádně liší od ostatních a dokážou proto vychýlit průměr natolik, že přestává daný výběr reprezentovat. Pokud je zjištěno, že jde o odlehlá pozorování, je nutné použít jinou metodu vyhodnocování, neboť by byl výsledek zkreslený. Za předpokladu, že jde o odlehlá pozorování, je nejvhodnější pro tento datový soubor použít funkci mediánu. Jestli datový soubor obsahuje odlehlá pozorování, zjistíme identifikací odlehlých pozorování. Identifikaci provedeme způsobem „Vnitřní hradby“.

Za odlehlé pozorování lze považovat takovou hodnotu x_i , která je od dolního, resp. horního kvartilu, vzdálená více než 1,5 násobek interkvartilového rozpětí. Tedy:

$$[(x_i < x_{0,25} - 1,5 \cdot IQR) \vee (x_i > x_{0,75} + 1,5 \cdot IQR)] \rightarrow \quad (16)$$

x_i je odlehlým pozorováním

kde

$$h_D = x_{0,25} - 1,5 \cdot IQR \quad \text{je dolní mez vnitřní hradby} \quad (17)$$

$$h_H = x_{0,75} + 1,5 \cdot IQR \quad \text{je horní mez vnitřní hradby} \quad (18)$$

Kvartily:

Dolní kvartil $x_{0,25}$ = 25% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 25 % hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75 % větších (nebo rovných))

Medián $x_{0,5}$ = 50% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že polovina (50 %) hodnot je menších než medián a polovina (50 %) hodnot větších (nebo rovných))

Horní kvartil $x_{0,75}$ = 75% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 75 % hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25 % větších (nebo rovných))

Interkvartilové rozpětí IQR:

Tato statistika je mírou variability souboru a je definována jako vzdálenost mezi horním a dolním kvantilem:

$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (19)$$

V Tab. 17 jsou vypočtené hodnoty pro posouzení možnosti výskytu odlehlých pozorování. Pokud hodnoty datového souboru (věku a odraznosti) jsou nižší než dolní mez vnitřní hradby a vyšší než horní mez vnitřní hradby, obsahuje datový soubor odlehlá pozorování (v tabulce vyznačeno červeným písmem).

Tab. 17 Tabulka vypočtených hodnot pro posouzení vhodnosti výpočtu průměrné hodnoty

Parametr	Věk	NAHOŘE	DOLE	CELKEM
$x_{0,25}$	20,0	5,8%	3,7%	3,9%
med	29,5	6,6%	7,2%	6,6%
$x_{0,75}$	43,0	12,0%	12,4%	12,0%
IQR	23,0	6,2%	8,7%	8,1%
min	1,0	2,5%	2,3%	2,3%
h_D	-14,5	-3,6%	-9,4%	-8,2%
h_H	77,5	21,3%	25,5%	24,1%
max	71,0	94,1%	64,2%	94,1%

Tab. 18 Tabulka vypočtených hodnot

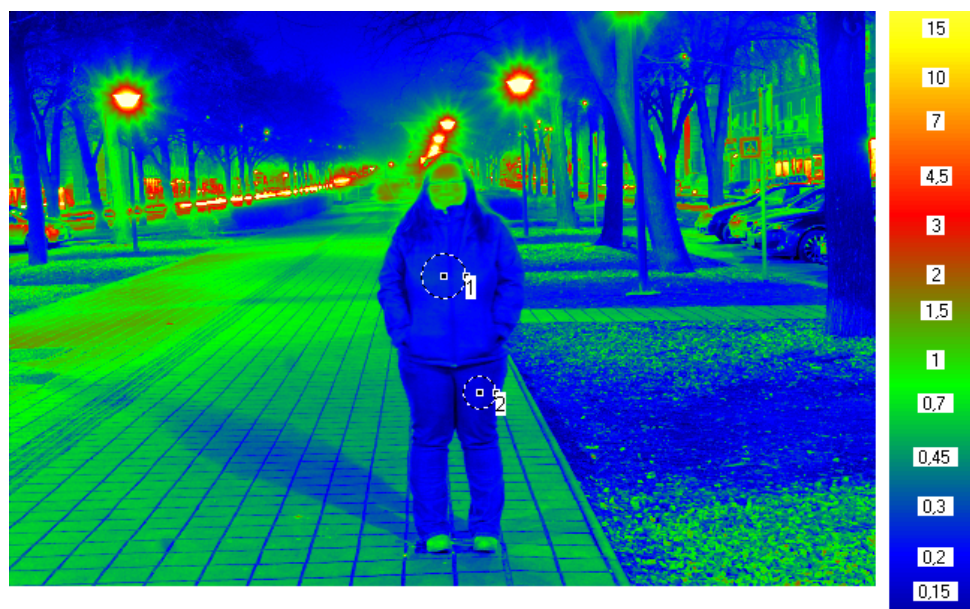
PRŮMĚRNÉ HODNOTY:			MEDIÁN	min	max
VĚK		31	30	1	71
M - muži		29	27	3	57
Z - ženy		33	31	1	71
Jas (cd/m ²)	NAHOŘE	0,55	0,23	0,09	3,30
	DOLE	0,37	0,25	0,08	2,25
	CELKEM	0,46	0,23	0,08	3,30
Odras	NAHOŘE	15,7%	6,6%	2,5%	94,1%
	DOLE	10,7%	7,2%	2,3%	64,2%
	CELKEM	13.2%	6,6%	2,3%	94,1%

Z Tab. 17 je zřejmé, že pro hodnoty věku jsou všechny hodnoty daného datového souboru v rozmezí h_D a h_H . Proto je možné pro posouzení průměrné odraznosti použít funkci aritmetického průměru.

U datových souborů odrazností jsou některé hodnoty odraznosti vyšší, než je horní mez vnitřní hradby. Soubory tedy obsahují odlehlá pozorování a pro vyhodnocování průměrných hodnot je vhodné použít medián.



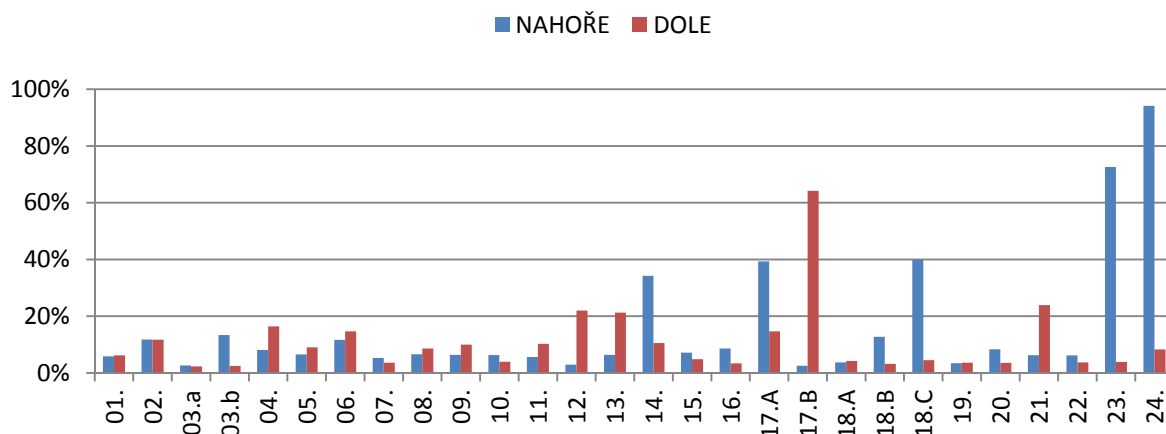
Obr. 27 Fotografie měřené osoby – Figurant 15.



Obr. 28 Jasová mapa měřené osoby – Figurant 15.

Hodnoty odraznosti oděvů se pohybovaly v rozmezí od 2,3 % (černé kalhoty) do 94,1 % (reflexní bunda). Medián odrazností byl vypočítán na hodnotu 6,6 %.

Téměř ukázkovým případem je figurant číslo 15. Odraznost horní části oblečení je 7 % a dolní části 5 %.



Obr. 29 Graf odraznosti oděvu chodců

Na Obr. 29 vidíme, že odraznost oděvů chodců je opravdu velice nízká. Jen několik málo případů vykazuje odraznost vyšší než 20 %. Takto málo světlé oděvy snižují viditelnost chodce a zvyšují tak nebezpečí přehlédnutí chodce řidičem i na osvětleném přechodu pro chodce.

V literatuře se setkáváme s údaji o průměrné odraznosti v teorii fotografie, kde je známo, že žijeme ve světě, který je v průměru šedivý, osmnáctiprocentní šedivý.

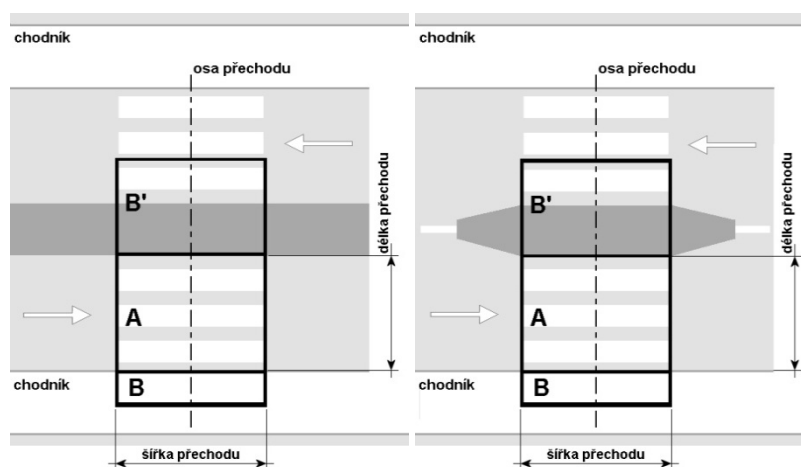
Při výstavbě přechodu pro chodce a jeho přisvětlení je řešena problematika z několika pohledů. Je nutné respektovat legislativní požadavky jak na samotnou výstavbu, tak na řešení osvětlovací soustavy. Přechod pro chodce by měl být vystavěn v místě, kde je možné bezpečné přejití vozovky s dobrými rozhledovými parametry a doplněn přisvětlením pro zlepšení viditelnosti chodce v nočních hodinách jak pro chodce, tak pro řidiče. Je nutné, aby chodci dbali na svou bezpečnost a užívali přechod pro chodce na vyznačeném úseku a také používali oblečení ze světlejších materiálů, případně nosili reflexní doplňky. [L5],[L12].

7 Popis metodiky osvětlování přechodů pro chodce

Metodika vychází z dodatku Technických kvalitativních podmínek staveb pozemních komunikací Ministerstva dopravy. [14]

7.1 Popis jednotlivých částí přechodu pro chodce

Přechod pro chodce se dělí na několik úseků. Každý z těchto úseků má jiné požadavky na přisvětlení. Základní prostor vymezuje část, která se nachází přímo na křížené komunikaci. Prostor neprodloužený doplňkový vymezuje nástupní část přechodu pro chodce v části chodníku. Prostor prodloužený doplňkový je definován v případě, že je každý jízdní směr rozdělen středovým ostrůvkem.

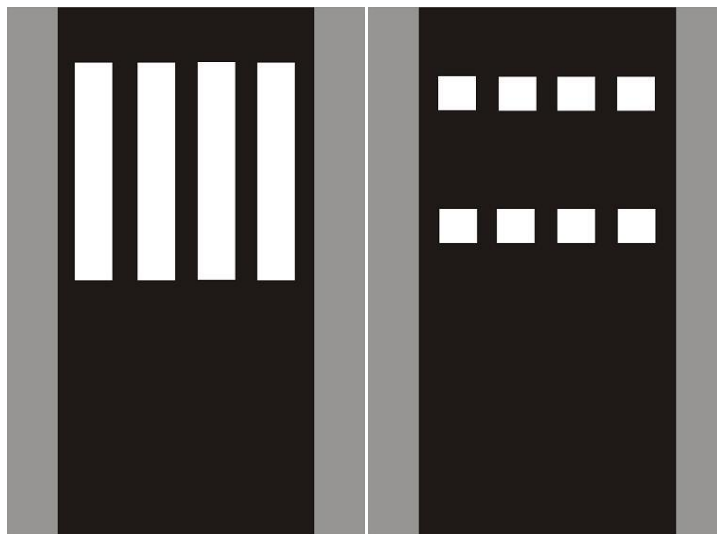


Obr. 30 Popis posuzovaných prostorů [14]

Posuzovaný prostor se středním dělicím pásem nebo ochranným ostrůvkem: A = základní; B = neprodloužený doplňkový; B' = prodloužený doplňkový. Platí pro směr jízdy zleva. Pro opačný směr je situace analogická.

Délka základního prostoru je v příčném směru vymezena rozhraním mezi chodníkem a vozovkou, zpravidla jde o okraj obrubníku přilehlý k pozemní komunikaci (případně vnější okraj vodící čáry nebo okraj zpevnění, pokud není navrženo dopravní značení). Zpevněná krajnice není součástí základního prostoru. Příčný směr je definován podle ČSN EN 13201-3. Na stezky pro chodce se hledí stejně jako na chodníky.

Šířka základního prostoru je v podélném směru vymezena okraji vodorovného dopravního značení V7 „přechod pro chodce“, anebo V8 „přejezd pro cyklisty“. Na místech pro přecházení pak stavebními úpravami chodníku (prostor, ve kterém je šířka obrubníku snížena pod 8 cm). Podélný směr je definován podle ČSN EN 13201-3.



Obr. 31 Vodorovné dopravní značení V7 a V8 [14]

Doplňkový prostor neprodloužený navazuje na základní prostor v příčném směru. Je dlouhý 1 m; jeho šířka je shodná se šířkou základního prostoru.

Doplňkový prostor prodloužený se zřizuje na straně případně existujícího středního dělicího pásu, ochranného ostrůvku a podobně, pokud je na pozemní komunikaci navržen. Je to prostor navazující na základní prostor v příčném směru. Je dlouhý 3 m; jeho šířka je shodná se šířkou základního prostoru. Doplnkový prostor prodloužený se nezřizuje v případě, že je délka dělicího pásu, ochranného ostrůvku a podobně větší než 3 metry.

U pozemních komunikací rozdělených středním dělicím pásem či ostrůvkem se posuzuje každá oddělená část zvlášť, jedno a totéž místo může být z pohledu jedné části základním prostorem a z pohledu druhé části doplňkovým prostorem. Platí pro směrově rozdělené pozemní komunikace, ale i pro pozemní komunikace, kde střední dělicí pás či ostrůvek odděluje části se stejným směrem provozu.

7.2 Obecné požadavky

Přisvětlení přechodu smí být provedeno jen při splnění podmínky, že pozemní komunikace je osvětlena před i za přechodem v úrovni předepsané normou ČSN EN 13201-2 v délce závislé na povolené rychlosti. Tato délka, měřená v ose pozemní komunikace od osy přechodu, je v každém směru nejméně:

- 50 m pro dovolenou rychlost nejvýše 30 km/h,
- 100 m pro dovolenou rychlost vyšší než 30 km/h, ale nepřesahující 50 km/h,

Prisvětlení přechodu pro chodce nesmí být provedeno tam, kde by zřízením prisvětlení došlo ke snížení kontrastu mezi chodcem a pozadím vlivem dalších osvětlených ploch do té míry, že by klesla viditelnost chodců na přechodu.

Doporučuje se prisvětlením vybavit vždy všechny přechody na uceleném úseku pozemní komunikace.

Na silnicích s protisměrným provozem musí být zřízeno prisvětlení přechodu pro chodce v obou jízdních směrech, aby byli osvětleni chodci z každého jízdního směru.

7.3 Kvantitativní a kvalitativní požadavky

Udržovaná průměrná svislá osvětlenost je předepsána na srovnávací vodorovné rovině ve výšce 0,9 m nad úrovní přechodu.

Tab. 19 Udržovaná průměrná svislá osvětlenost [14]

Udržovaná hodnota		Průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace (cd.m ⁻²)	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
1,5 < \overline{L}	50 < \overline{E}	přisvětlení se nezřizuje		
1,0 < \overline{L} ≤ 1,5	30 < \overline{E} ≤ 50	75	50	200
0,75 < \overline{L} ≤ 1,0	20 < \overline{E} ≤ 30	50	30	150
0,5 < \overline{L} ≤ 0,75	10 < \overline{E} ≤ 20	30	20	100
\overline{L} ≤ 0,5	\overline{E} ≤ 10	15	10	50

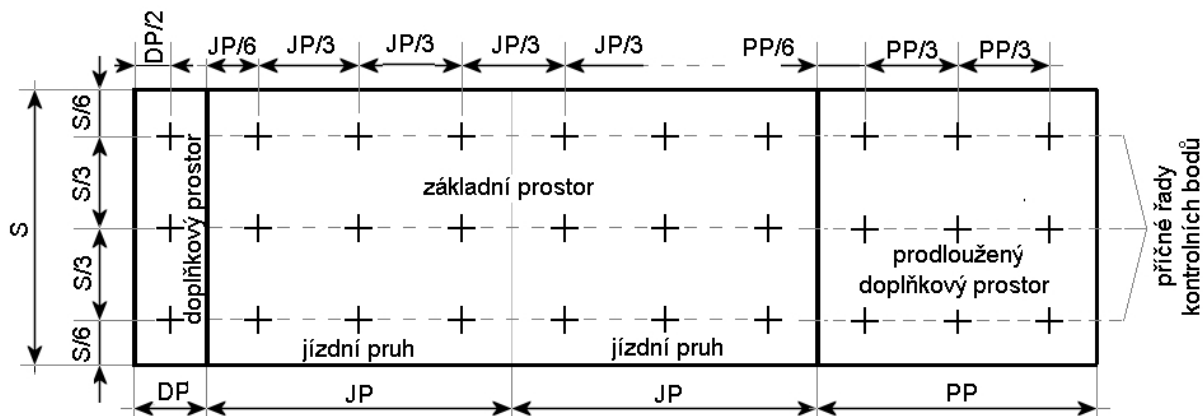
Pro základní prostor a pro doplňkové prostory jsou níže uvedeny nejnižší a nejvyšší přípustné hodnoty udržované průměrné svislé osvětlenosti.

Výběr se provádí podle udržovaného jasu vozovky. Tam kde není jas znám, se vychází z velikosti udržované horizontální osvětlenosti pozemní komunikace. Doporučuje se, aby udržovaná průměrná svislá osvětlenost doplňkových prostorů dosahovala stejné hodnoty jako v základním prostoru.

Celková rovnoměrnost svislé udržované osvětlenosti je poměr minimální a průměrné svislé udržované osvětlenosti v jednotlivých prostorech. Nesmí být nižší než 0,4. V neprodlouženém doplňkovém prostoru se nevyhodnocuje.

Výpočtové či měřicí body se umísťují ve srovnávací rovině do tří příčných řad vzdálených 1/3 šířky přechodu. První řada je umístěna ve vzdálenosti 1/6 šířky přechodu od jeho okraje. V jednotlivých

příčných řadách se v základním prostoru umísťují analogicky tři výpočtové body vztažené k šířce každého jízdního pruhu. V prodlouženém doplňkovém prostoru se umísťují analogicky také tři výpočtové body v každé příčné řadě. V doplňkovém prostoru délky 1 m se umísťuje pouze jeden výpočtový bod v každé řadě. [14], [32],[L5],[L19].



Obr. 32 Kontrolní body výpočtu a měření [14]

8 Ověření navržené metodiky na reálných případech

8.1 Projektování a analýza přechodů pro Nadaci ČEZ

Na jaře roku 2013 proběhla mediální kampaň společnosti ČEZ na zvýšení bezpečnosti chodců na přechodech. Široká veřejnost společně s odborníky vybrala 35 nebezpečných přechodů pro chodce ve všech distribučních regionech České republiky. Společnost ČEZ darovala obcím, ve kterých se tyto nebezpečné přechody nacházely, finanční prostředky k výstavbě přisvětlení přechodu pro chodce.

Tab. 20 Vybrané obce [28]

Baška	Česká Lípa	Benešov	Volary 1,2	Brno
Hradec Králové	Děčín	Praha 10	Záhoří 1,2	Velká Bíteš
Chrudim	Hroznětín	Praha 5	Lidečko	Ráječko
Mníšek	Jablonec	Březnice	Hodslavice	Blovice
Náchod	Jáchymov	Horní Žďár	Staré Město	Líně
Pardubice	Kladno	Týn nad Vltavou	Hodonín	Olšany
Trutnov	Ústí nad Labem	Veselí nad Lužnicí	Ivančice	Plzeň

Společnost ČEZ také v souvislosti s dotací zařadila projekční práce. Neboť k osvětlovací soustavě přechodu pro chodce je nutné přistupovat individuálně. Každý z přechodů byl podroben posouzením bezpečnosti/nebezpečnosti. Z posouzení vyplynulo, že mnoho z přechodů je nebezpečných již z jejich umístění či geometrického uspořádání.

8.1.1 Chyby při umístění přechodu pro chodce

Níže jsou popsány nejčastější chyby v umístění přechodů pro chodce. Posouzení vychází z platné legislativy ČSN 73 6110 - Projektování místních komunikací.

8.1.1.1 Přecházení vozovky přes více jak dva jízdní pruhy bez ostrůvku

Přechod pro chodce v Hradci Králové je sice vybaven světelnou signalizací, a tedy není nutná výstavba dělicího ostrůvku, ale v nočních hodinách, kdy z důvodu zvýšení plynulosti dopravy je

světelná signalizace neaktivní, dochází k tomu, že chodec musí překonat čtyři jízdní pruhy. Je tedy vystaven vyšší pravděpodobnosti srážky s vozidlem.



Obr. 33 Přejchod pro chodce v Hradci Králové [28]

8.1.1.2 Špatné rozhledové poměry – parkovací místa



Obr. 34 Přejchod pro chodce v obci Líně [28]

V obci Líně je problematika bezpečnosti chodce závislá na rozhledových podmínkách. Před přechodem pro chodce je odstavný pás pro parkující vozidla. Pokud zde vozidla zaparkovaná nejsou, jsou rozhledové podmínky dobré. Pokud je před přechodem zaparkováno vozidlo a v horším případě větších rozměrů, přijíždějící řidič nemá informaci o výskytu chodce, který se chytá vozovku přejít.

8.1.1.3 Špatné rozhledové poměry – zatáčka

Dalším aspektem snížení rozhledových poměrů je umístění přechodu v zatáčce či její blízkosti. Na Obr. 35 vidíme přechod, který je umístěn hned za zatáčkou. U tohoto umístění přechodu pro chodce dochází ke snížení bezpečnosti tím, že řidič se o výskytu chodce ve vozovce dozvídá ve velmi krátké vzdálenosti před přechodem. Pokud řidič nepředpokládá možný výskyt přechodu pro chodce a jede vyšší rychlostí, může v závislosti na reakční době a brzdné dráze vozidla chodce ohrozit.



Obr. 35 Přechod pro chodce v obci Hroznětín [28]

8.1.1.4 Šikmé křížení komunikace

Jak bylo výše popsáno, přechod pro chodce má křížit jízdní pruhy kolmo. Tento požadavek nebyl dodržen například v obci Týn nad Vltavou. Přechody pro chodce mají chodci umožnit co nejrychlejší a nejbezpečnější překonání vozovky. Pokud přechod není kolmý k vozovce, prodlužuje se délka přechodu a v přímé závislosti i čas strávený na přechodu pro chodce.



Obr. 36 Pěchod pro chodce v obci Týn nad Vltavou [28]

8.1.2 Návrh osvětlovací soustavy

Při návrhu osvětlovacích soustav přisvětlení přechodu pro chodce bylo vycházeno z publikace: Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15, Osvětlování pozemních komunikací, Dodatek č. 1 – Přisvětlování přechodů. Přípravovaná revize TKP z roku 2006. Ministerstvo dopravy, odbor infrastruktury.

Z této publikace byly určeny hodnoty osvětleností na přechodech pro chodce. Dále pak doplňující informace pro správce veřejného osvětlení ke zvýšení bezpečnosti.

8.1.2.1 Osvětlovací soustava

Při osvětlování přechodu pro chodce se dosahovalo vždy pozitivního kontrastu. Svítidla byla tedy umístěna před přechodem pro chodce ve směru jízdy ve vzdálenosti dle provedeného výpočtu. Výška svítidel, ve většině případů, byla 6 m nad vozovkou a vyložení bylo dáno výpočtem. Dosáhnout požadované délky vyložení bylo u dlouhých vyložení problematické, neboť v okolí přechodu se nacházelo množství inženýrských sítí, které znemožňovaly výstavbu bytelných základů pro sloupky s dlouhým vyložením.

8.1.2.2 Požadované hodnoty

Jelikož při projekci nebyly známy hodnoty osvětleností přilehlých komunikací, byly hodnoty osvětlenosti a rovnoměrnosti na přechodu pro chodce určovány dle okolních vlivů. Nejdůležitějším kritériem byla okolní osvětlovací soustava, skutečné jasy okolí a osvětlenost komunikace. Důraz byl

kladen na adaptační pásma. Pokud byla osvětlenost přiléhající komunikace nízká, volily se hodnoty osvětleností nižší. V těchto případech byla využívána svítidla o výkonu 70 W. Tato situace nastala většinou v malých obcích. Pokud byly okolní jasy vysoké, bylo nutné k vytvoření pozitivního kontrastu použít výkonnější svítidla. Byla používána svítidla se světelnými zdroji o výkonu 150 – 50 W. Zatřídění přilehlých komunikací prováděla organizace ČEZ. Jelikož u některých přechodů pro chodce nebyly přilehlé komunikace vůbec osvětleny, nebo bylo osvětlení nevyhovující požadavkům zatříděné třídy osvětlení, byl vznesen požadavek na doplnění osvětlovací soustavy před a za přechodem pro chodce.

8.1.2.3 Světelné zdroje

Jako světelné zdroje byly využívány halogenidové výbojky o výkonech 70 – 250 W. U těchto světelných zdrojů byla výhoda vytvoření barevného kontrastu na přechodu pro chodce, protože většina okolních svítidel byla vybavena sodíkovými výbojkami. Bylo předpokládáno využití moderních LED světelných zdrojů, ale při výpočtech se dostupná svítidla neosvědčila z důvodu nerovnoměrného rozložení světelného toku. Vyzařovací charakteristiky svítidel byly příliš úzké, než aby rovnoměrně osvětlily šířku přechodu.



Obr. 37 Ukázka používaných svítidel [28]

8.1.3 Výsledky měření realizovaných přechodů pro chodce

Při měření a ověřování vypočtených a doporučených parametrů na a v okolí již realizovaných přechodů pro chodce bylo zjištěno, že přisvětlení přechodu pro chodce bylo realizováno dle projektu, avšak doporučení, které se týkalo okolního osvětlení a adaptačních zón, nebylo splněno.

8.1.3.1 Nesplnění doporučení vytvoření dostatečné adaptační zóny

Častou skutečností bylo, že osvětlení bylo realizováno pouze na přechodu pro chodce a nebyly v jeho okolí vytvořeny adaptační zóny. Na Obr. 38 je ukázáno, jak se osvětlení přechodu bez vytvořených adaptačních zón vypadá. Chodec na přechodu je osvětlen dostatečně, avšak přijíždějící řidič už nemá informaci o situaci za přechodem pro chodce. U řidiče, který projede osvětleným místem, dojde k adaptaci na vyšší jasy, než jsou za osvětleným přechodem. Řidič tak dočasně ztrácí vizuální kontakt s okolím. Pokud by chodec přecházel až za osvětleným místem, řidič nemá informaci o jeho výskytu na vozovce, neboť místo za přechodem není osvětleno a po projetí místem s vyššími jasy není jeho zrak dostatečně adaptován na nízké jasy.



Obr. 38 Přechod pro chodce bez adaptační zóny – obec Olšany

8.1.3.2 Zřízení osvětlení přechodu jen na jednom z přechodů na uceleném celku komunikace

Další doporučení, které plynulo z projektové dokumentace, je, že pokud se na uceleném úseku komunikace nachází více přechodů pro chodce, je nutné osvětlit i tato místa, neboť by řidič mohl rozpoznat jen přechod, který je osvětlen.

Na Obr. 39 je vidět osvětlený přechod, který se nachází v blízkosti křižovatky. Za křižovatkou je ale umístěn další přechod, který osvětlený není. Přijíždějící řidič tak může následující neosvětlený přechod jednoduše přehlédnout.



Obr. 39 Osvětlený přechod pro chodce na úseku s dalším neosvětleným přechodem v obci Česká Lípa

Na Obr. 40 je ukázána správná instalace osvětlení přechodu pro chodce na úseku, kde je vybudováno více přechodů. Na vyobrazeném úseku má přijíždějící řidič zřetelnou informaci o výskytu dalšího přechodu pro chodce. Muže tak této skutečnosti přizpůsobit svou jízdu a vyhnout se tak možnosti srážky s chodcem.



Obr. 40 Osvětlené přechody pro chodce na úseku s více přechody za sebou v obci Lidečko

8.1.3.3 *Jasové poměry při špatných povětrnostních podmínkách*

Jasové poměry na přechodu pro chodce může výrazným způsobem ovlivnit počasí. Na Obr. 41 je ukázka přechodu při mlze. Je vidět, že mlha tvořená aerosolem vytváří odlesky od kapének vody rozptýlených ve vzduchu. Odlesky pak vytvářejí závoje oslnění. Za přechodem je však dostatečné adaptační pásmo, které oslnění snižuje a poskytuje informaci řidiči o podmínkách prostoru za přechodem.



Obr. 41 Osvětlení přechodu při mlze v obci Mníšek



Obr. 42 Osvětlení přechodu na mokré vozovce

V případě, že řidič přijíždí k přechodu pro chodce po mokré vozovce, vnímá vlivem asymetrické optiky svítidla vyšší jas komunikace v protisměru. Navíc u tohoto případu chybí adaptační pásmo.

Při návrhu osvětlovací soustavy je také velmi důležité, aby nebyly překročeny maximální dovolené hodnoty osvětleností, neboť může docházet k oslnění díky vysokým jasům nejen za zhoršených povětrnostních podmínek.

8.1.3.4 Oslnění reklamní plochou

Co se týče osvětlování přechodů pro chodce, je velmi důležité, aby byl řidič přijíždějící k přechodu pro chodce dostatečně adaptován na intenzitu jasů na a v blízkosti přechodu. K tomu slouží vytvoření adaptačních pásem před a za přechodem. Přechod v obci Pardubice, kde má být zřízeno přisvětlení přechodu je před i za přechodem neosvětlen. Navíc je v jeho blízkosti umístěn reklamní billboard, který může způsobovat oslnění řidičů či jejich nepozornost vůči přechodu pro chodce.



Obr. 43 Přechod pro chodce v obci Pardubice [28]

8.1.3.5 Rušivé světlo

Při navrhování přisvětlení přechodů pro chodce je třeba dbát i na rušivé světlo, které při špatné instalaci svítidla či nepoužití vhodného příslušenství může negativně ovlivňovat světlenou pohodu v okolí přechodu pro chodce. Na Obr. 44 je patrné, že instalované svítidlo má světelný přesah na fasádě domu, kde osvětluje okenní otvory domu. Při této situaci může dojít ke stavu, kdy osvětlenost na okenním otvoru bude vyšší, než je povolená mez dle legislativy a intenzita osvětlenosti bude charakterizována jako rušivá. [28], [L5],[L17],[L22].



Obr. 44 Přechod pro chodce v obci Ivančice

8.2 Ověřování bezpečnosti osvětlení přechodů v Ostravě

8.2.1 Dopravní nehodovost

Při vyhodnocování je postupováno následovně. Nejprve je na území okresu Ostrava vytipováno místo, kde již minimálně v období jednoho roku je nainstalováno bezpečnostní opatření. Dále se shromáždí datové soubory, které obsahují informace o počtu dopravních nehod. Z těchto dat je vybrán statistický vzorek v obsahu jednoho roku před instalací a jednoho roku po instalaci. A z tohoto výběru se analyzuje, jakým způsobem opatření ovlivnilo bezpečnost daného přechodu pro chodce. Přínos opatření byl porovnáván jen z hlediska počtu dopravních nehod a také dle okolností, které k nehodě přispěly [8],[L16].

Všechny přechody pro chodce, které byly realizovány v období roků 2010-2012, byly podrobeny statistické analýze dopravní nehodovosti před a po realizaci.

Na všech z 87 přechodů se stalo celkem 7 dopravních nehod před realizací a 4 dopravní nehody po realizaci. Toto množství dopravních nehod je statisticky nevýznamné, z tohoto důvodu nebyly prováděny další testy.

Tab. 21 Dopravní nehody na a v blízkosti přechodu pro chodce

Kritérium	Možnosti	V noci	
		Před	Po
Počet	DN	7	4
Vina	Řidič	5	3
	Chodec	2	1
Následky	Bez zranění	1	1
	Zranění	6	2
	Smrt	0	1
Povrch	Suchý	4	0
	Mokrý	2	2
	Sníh	1	2
Viditelnost	S VO	7	4
	Bez VO	0	0
Smyk	Ano	0	0
	Ne	7	4

V Tab. 21 je popsáno, za jakých podmínek docházelo k dopravním nehodám. Ve většině případů je zavinění dopravní nehody přisuzováno řidiči motorového vozidla. Ani u jedné z dopravních nehod nedošlo ke smyku vozidla. Toto zjištění predikuje buď to náraz v plné rychlosti, bez brzdění a jakékoli reakce řidiče, nebo před srážkou byla rychlost velmi malá a nedošlo ke smyku. Ve všech případech byla komunikace osvětlena veřejným osvětlením. K dopravním nehodám po realizaci přisvětlení přechodu pro chodce docházelo za zhoršených povětrnostních podmínek, kdy ani v jednom z případů nebyla vozovka v místě srážky suchá. Vlivem povětrnostních podmínek byla ovlivněna také dopravní nehoda s úmrtím chodce, která se stala za sněžení na kluzké vozovce.

8.2.2 Jasové poměry - odraznost oděvu chodce

Pro dobrou rozeznatelnost chodce na přechodu je potřeba dostatečně osvětlit svislý prostor přechodu z pohledu přijíždějícího řidiče. Díky dostatečné hodnotě vertikální osvětlenosti v prostoru přechodu bude procházející chodec vytvářet jas, který ve vztahu k jasů pozadí by měl být v poměru 3:1 pro pozitivní kontrast a 1:3 pro negativní kontrast. Jas chodce ovšem závisí na odraznosti jeho oděvu. Již bylo popsáno, že průměrná odraznost je 18 % a při prováděném experimentu v období, kdy dochází nejčastěji k dopravním nehodám, bylo zjištěno, že medián odraznosti oděvů chodců byl 6,6 %.

Bezpečnost na vybraných přechodech pro chodce v okrese Ostrava je tedy z hlediska správného osvětlení posuzována i pro jednotlivé odraznosti. Skupina posuzovaných přechodů byla rozdělena

podle umístění svítidla (před přechodem, za přechodem, uprostřed osy přechodu, v daném směru není umístěno svítidlo). Nejčastěji byla svítidla pro přisvětlení přechodu pro chodce umístěna před přechodem (119). Druhým nejčastějším typem bylo, kdy přechod pro chodce byl osvětlen jen z jedné strany. V druhém jízdním pruhu se svítidlo nevyskytovalo. Tento typ se vyskytoval u 33 případů.

Tab. 22 Tabulka počtu přechodu, které splní požadavek na daný poměr jasů při odraznosti chodce 6,6 %

ODRAZNOST 6,6 %											
		CELKEM		1 - před		2 - za		3 - střed		4 - nemá	
Poměr		174		119		9		13		33	
>1		59	34%	53	45%	0	0%	3	23%	3	9%
>2		16	9%	15	13%	0	0%	1	8%	0	0%
>3		5	3%	4	3%	0	0%	1	8%	0	0%
>5		0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
>10		0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Pokud bychom předpokládali odraznost oděvu chodce 6,6 %, bude dostatečně osvětleno 3 % ze všech posuzovaných přechodů. Při poměru jasů chodce k jasů pozadí 1:1 bude chodec splývat s pozadím a stane se „neviditelným“. Při poměru vyšším než 1:1 se již předpokládá, že lze chodce na přechodu v malé míře rozeznat. Např.: poměr jasů vyšší než 2:1 má již 9 % ze všech přechodů.

Tab. 23 Tabulka počtu přechodu, které splní požadavek na daný poměr jasů při odraznosti chodce 18 %

ODRAZNOST 18,0 %											
		CELKEM		1 - před		2 - za		3 - střed		4 - nemá	
Poměr		174		119		9		13		33	
>1		127	73%	107	90%	4	44%	7	54%	9	27%
>2		79	45%	71	60%	0	0%	3	23%	5	15%
>3		50	29%	46	39%	0	0%	1	8%	3	9%
>5		20	11%	19	16%	0	0%	1	8%	0	0%
>10		2	1%	1	1%	0	0%	1	8%	0	0%

Pokud bude chodec oblečen do světlejšího oděvu, konkrétně oděvu s 18 % odrazností, bude viditelný (poměr 3:1) na 29 % na všech přechodech pro chodce z posuzovaného souboru.

V Tab. 24 si můžeme povšimnout, že je velice důležité umístění svítidla. Pokud je svítidlo před přechodem, vytváří mnohem lepší světelné vlastnosti, než když je umístěno v jiných pozicích. Při umístění svítidla před přechodem splní požadavek na poměr jasů 3:1 39 % posuzovaných přechodů.

Tab. 24 Tabulka počtu přechodů s požadavkem na daný poměr jasů při odraznosti chodce 50 %

ODRAZNOST 50,0 %											
		CELKEM		1 - před		2 - za		3 - střed		4 - nemá	
Poměr		174		119		9		13		33	
>1		167	96%	118	99%	8	89%	11	85%	30	91%
>2		143	82%	112	94%	6	67%	8	62%	17	52%
>3		125	72%	106	89%	4	44%	7	54%	8	24%
>5		91	52%	82	69%	0	0%	4	31%	5	15%
>10		38	22%	35	29%	0	0%	1	8%	2	6%

Pokud by chodec byl oblečen ve světlém oděvu, bude vytvářet poměr jasů vyšší než 3:1 na 72 % posuzovaných přechodech pro chodce. A při správném umístění svítidla splní požadavek 89 % z posuzovaných přechodů.

Z výše uvedeného je zřejmé, že viditelnost na přechodu pro chodce je závislá na odraznosti oděvu chodce. Bohužel bylo zjištěno, že i při vysokých odraznostech (50 %) 28 % posuzovaných přechodů je nedostatečně osvětleno. Na tuto skutečnost bude správce upozorněn a bude mu navrženo řešení, jak nevyhovující přechody osvětlit, aby byli chodci lépe rozeznatelní.

8.2.3 Jasové poměry - jas pozadí

Stejně důležitý parametr jako odraznost oděvu chodce je i jas pozadí. Při vysokých jasech pozadí se nedoporučuje používat výkonná svítidla pro přisvětlení přechodu, neboť by zvýšení jasu oděvu chodce vedlo k vyrovnaní jasového poměru a snížení viditelnosti chodce.

Při navrhování osvětlovací soustavy pro přisvětlení přechodu pro chodce však musíme vycházet i z jasu pozadí.

Byly vyhodnocovány tři oblasti. Jas pozadí nástupu, jas pozadí v prostoru přechodu a jas pozadí nástupního místa v protisměru, případně ostrůvku.

Pokud byla minimální hodnota nižší než hodnota dolní meze vnitřní hradby nebo byla maximální hodnota vyšší než hodnota horní meze vnitřní hradby, byl jas nástupu vyhodnocen jako medián.

V jiných případech jako aritmetický průměr. Data byla použita z měření 87 osvětlených přechodů pro chodce (174 objektů) v Ostravě.

Tab. 25 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: E > 0 lx			
Počet objektů:		174	
Parametr	Nástup 1 (cd/m^2)	Pozadí 1 (cd/m^2)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m^2)
$x_{0,25}$	0,3	0,5	0,3
medián	0,5	0,8	0,6
průměr	1,0	1,1	1,2
$x_{0,75}$	1,0	1,2	1,0
IQR	0,7	0,7	0,7
min	0,1	0,1	0,1
hD	-0,8	-0,6	-0,6
hH	2,1	2,3	2,0
max	28,2	12,6	21,0

Z Tab. 25 je zřejmé, že při hodnocení všech změřených přechodů pro chodce byly všechny tři oblasti hodnoceny jako mediány vlivem vzdálených pozorování. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je vyšší než jas nástupů (ostrůvku). Bylo hodnoceno 174 měřených objektů.

Tab. 26 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: E < 10 lx			
Počet objektů:		70	
Parametr	Nástup 1 (cd/m^2)	Pozadí 1 (cd/m^2)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m^2)
$x_{0,25}$	0,3	0,5	0,3
medián	0,50	0,70	0,48
průměr	0,52	0,74	1,16
$x_{0,75}$	0,7	1,0	0,7
IQR	0,4	0,6	0,4
min	0,1	0,1	0,1
hD	-0,3	-0,4	-0,3
hH	1,2	1,8	1,3
max	1,6	2,0	1,7

Z Tab. 26 je zřejmé, že při hodnocení změřených přechodů pro chodce s horizontální osvětleností okolí přechodu v rozsahu osvětleností $E < 10 \text{ lx}$ byly všechny tři oblasti hodnoceny jako mediány vlivem vzdálených pozorování. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je vyšší než jas nástupů (ostrůvku). Bylo hodnoceno 70 měřených objektů z celkového počtu 174.

Tab. 27 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: $10 \text{ lx} > E < 20 \text{ lx}$			
Počet objektů:		70	
Parametr	Nástup 1 (cd/m^2)	Pozadí 1 (cd/m^2)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m^2)
$x_{0,25}$	0,3	0,5	0,3
medián	0,40	0,70	0,53
průměr	0,60	0,99	1,08
$x_{0,75}$	0,6	1,1	1,0
IQR	0,3	0,6	0,7
min	0,1	0,1	0,1
hD	-0,2	-0,5	-0,7
hH	1,1	2,0	2,0
max	3,2	6,3	21,0

Z Tab. 27 je zřejmé, že při hodnocení změřených přechodů pro chodce s horizontální osvětleností okolí přechodu v rozsahu osvětleností $10 \text{ lx} > E < 20 \text{ lx}$ byly všechny tři oblasti hodnoceny jako mediány vlivem vzdálených pozorování. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je vyšší než jas nástupů (ostrůvku). Hodnoty pozadí nástupních prostorů a pozadí samotného přechodu jsou totožné jako při vyhodnocování přechodů pro chodce v rozsahu horizontálních osvětleností okolí přechodu $E < 10 \text{ lx}$. Bylo hodnoceno 70 měřených objektů z celkového počtu 174.

Z Tab. 28 je zřejmé, že při hodnocení změřených přechodů pro chodce s horizontální osvětleností okolí přechodu v rozsahu osvětleností $20 \text{ lx} > E < 30 \text{ lx}$ byly všechny tři oblasti hodnoceny jako mediány vlivem vzdálených pozorování. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je vyšší než jas nástupů (ostrůvku). Hodnoty pozadí nástupních prostorů a pozadí samotného přechodu jsou vyšší jako při vyhodnocování předchozích skupin přechodů pro chodce. Bylo hodnoceno 21 měřených objektů z celkového počtu 174.

Tab. 28 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: 20lx > E < 30lx			
Počet objektů:		21	
Parametr	Nástup 1 (cd/m ²)	Pozadí 1 (cd/m ²)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m ²)
x _{0,25}	0,7	0,9	0,7
medián	1,00	1,56	1,20
průměr	1,14	2,36	1,39
x _{0,75}	1,1	2,0	2,0
IQR	0,5	1,1	1,4
min	0,2	0,4	0,2
hD	0,0	-0,8	-1,4
hH	1,8	3,7	4,0
max	5,1	12,6	4,2

Tab. 29 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: 30lx > E < 50lx			
Počet objektů:		11	
Parametr	Nástup 1 (cd/m ²)	Pozadí 1 (cd/m ²)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m ²)
x _{0,25}	0,9	1,3	0,9
medián	1,00	1,90	1,40
průměr	0,95	1,97	1,47
x _{0,75}	1,1	2,6	1,9
IQR	0,3	1,4	1,0
min	0,2	0,8	0,6
hD	0,5	-0,8	-0,7
hH	1,5	4,6	3,4
max	1,6	3,0	3,0

Z Tab. 29 je zřejmé, že při hodnocení změřených přechodů pro chodce s horizontální osvětleností okolí přechodu v rozsahu osvětleností 30 lx > E < 50 lx byla oblast nástupního místa vpravo z pohledu přijíždějícího řidiče hodnocena jako medián vlivem vzdálených pozorování. Datový soubor dalších dvou oblastí nevykazoval vzdálená pozorování, a proto mohly být tyto oblasti hodnoceny jako aritmetické průměry. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je vyšší než jas nástupů (ostrůvku). Hodnoty pozadí nástupních prostorů a pozadí samotného přechodu jsou vyšší

jako při vyhodnocování předchozí skupiny přechodů pro chodce. Bylo hodnoceno 11 měřených objektů z celkového počtu 174.

Tab. 30 Tabulka vypočtených průměrných hodnot a mediánů pozadí

Osvětlenost komunikace: E > 50lx			
Počet objektů:		2	
Parametr	Nástup 1 (cd/m ²)	Pozadí 1 (cd/m ²)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m ²)
x _{0,25}	4,9	4,5	7,5
medián	5,05	4,70	9,65
průměr	5,05	4,70	9,65
x _{0,75}	5,2	4,9	11,8
IQR	0,4	0,4	4,3
min	4,7	4,3	5,4
hD	4,4	3,9	1,2
hH	5,8	5,5	18,2
max	5,4	5,1	13,9

Z Tab. 30 je zřejmé, že při hodnocení změřených přechodů pro chodce s horizontální osvětleností okolí přechodu v rozsahu osvětleností E > 50 lx nebyla žádná oblast hodnocena jako medián vlivem vzdálených pozorování. Datové soubory všech tří oblastí nevykazoval vzdálená pozorování, a proto mohly být tyto oblasti hodnoceny jako aritmetické průměry. Při srovnání vypočtených hodnot je patrné, že jas pozadí je nižší než jas nástupů (ostrůvku). Byly hodnoceny pouze dva měřené objekty z celkového počtu 174. Takto nízký počet je statisticky nevýznamný a nelze tedy z těchto údajů usuzovat závěry ohledně jasu pozadí. Z daného počtu lze však usoudit, že přechody s takto vysokou horizontální osvětleností okolí se měřené oblasti vyskytují jen zřídka. [L18]

9 Testování hypotéz analýz jasových poměrů na přechodech pro chodce

Během roku 2014 bylo provedeno rozsáhlé měření na osvětlených přechodech pro chodce na území okresu Ostrava. Byly vybrány přechody, které byly realizovány v období 2010 až 2012. Na těchto přechodech bylo v nočních hodinách, tak abychom vyloučili vliv denního světla, provedeno měření, které se zaměřovalo na jasové poměry na a v blízkosti přechodu pro chodce. Byly měřeny jasy a osvětlenosti. Dále byly zaznamenávány geometrické údaje, stavební opatření, výskyt světelné signalizace a zástavby okolí. Údaje o osvětlovací soustavě byly zaznamenány z pohledu použití světelných zdrojů a využití doplňkového signalizačního zařízení („blikačky“).



Obr. 45 Posouzení prostoru přechodu pro chodce

Údaje o umístění přechodu:

- název ulice, na které se přechod vyskytuje
- GPS souřadnice přechodu
- směr jízdního pruhu k přechodu pro chodce

(jelikož byly hodnoceny dva směry pro každý přechod, bylo nutné jednotlivé směry rozlišit. Např.: Přechod v jízdním pruhu A má směr na sever a přechod v jízdním pruhu B má směr na jih)



Obr. 46 Formulář datového souboru

Údaje o geometrických rozměrech a vlastnostech prostoru:

- počet jízdních pruhů
- délka přechodu
- šířka přechodu
- výskyt ostrůvku
- zástavby v okolí přechodu
- zástavby v pozadí přechodu

Údaje o osvětlovací soustavě

- světelné zdroje ve svítidlech v okolí přechodu
(halogenová, sodíková výbojka, LED, v daném směru není umístěno svítidlo)
- světelný zdroj ve svítidle pro osvětlení přechodu
(halogenová, sodíková výbojka, LED, v daném směru není umístěno svítidlo, LVD)
- umístění svítidla pro osvětlení přechodu
(před přechodem, za přechodem, uprostřed osy přechodu, v daném směru není umístěno svítidlo)
- doplňkové signalizační zařízení
(„blikačky“)

Údaje o horizontální osvětlenosti

- osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený)
- osvětlenost přechodu pro chodce (základní prostor)
- osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu
- osvětlenost v prostoru ostrůvku
- osvětlenost v jízdním pruhu před přechodem
- osvětlenost v jízdním pruhu za přechodem

Údaje o vertikální osvětlenosti

- osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený) 0,9 m nad vozovkou
- osvětlenost přechodu pro chodce (základní prostor) 0,9 m nad vozovkou
- osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu 0,9 m nad vozovkou
- osvětlenost v prostoru ostrůvku 0,9 m nad vozovkou
- osvětlenost v jízdním pruhu 60 m před přechodem - 1,5 m nad vozovkou

Údaje o jasech na a v okolí přechodu pro chodce

- jas přechodu pro chodce (základní prostor) -1-
- jas pozadí nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený) -2-
- jas pozadí přechodu pro chodce (základní prostor) -3-
- jas pozadí nástupního místa v opačném jízdním pruhu -4-
- jas pozadí v prostoru ostrůvku

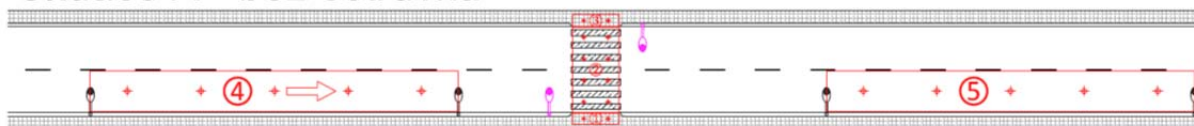
Všechny tyto údaje byly zaznamenávány do jednotného formuláře. Formuláře všech přechodů pro chodce tvořily základní datový soubor, který byl následně vyhodnocován.

9.1 Popis měření

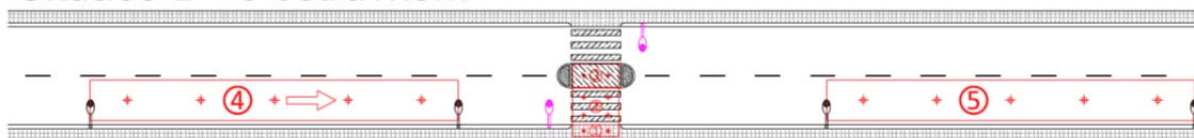
Protože šlo o rozsáhlé měření, které je velice časově náročné, bylo přistoupeno ke zjednodušení postupu při měření, aby se snížila časová náročnost. Zjednodušení se nejvíce projevilo na počtu měřených bodů. Měřené body na komunikaci nebyly rozmístěny v počtu dle doporučení normy ČSN EN 13201 - Osvětlení pozemních komunikací. Počet měřených bodů byl citlivě redukován v závislosti na významnosti jednotlivých měření.

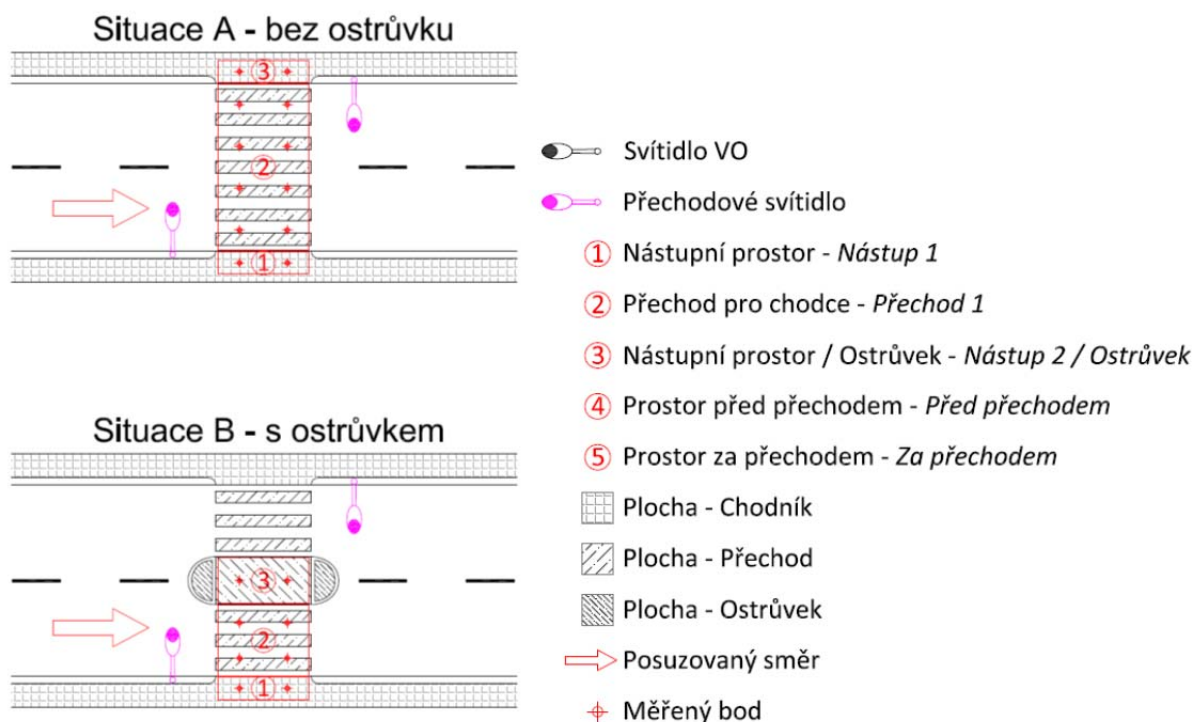
Měřené body jsou znázorněny na Obr. 47 pro jednotlivé měřené plochy a dva druhy situací, které se při měření vyskytovaly. Situace A – měřený přechod pro chodce je bez ostrůvku. Situace B – měřený přechod je s ostrůvkem.

Situace A - bez ostrůvku



Situace B - s ostrůvkem





Obr. 47 Měřené body pro situaci A i B

9.1.1 Horizontální osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený)

Jde o prostor při pravém okraji vozovky z pohledu přijíždějícího řidiče. Vyhodnocované pásmo se převážně nacházelo na zpevněném chodníku a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tento prostor byl vyhodnocován po celé délce vyznačeného přečtu v šíři 1 m. Počet měřených bodů byl stanoven na dva měřené body. Osvětlenost byla měřena na povrchu zpevněné plochy chodníku měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.2 Horizontální osvětlenost přečtu pro chodce (základní prostor)

Tento prostor se nalézá na vozovce tam, kde je přečtový pro chodce vyznačen vodorovným značením. Vyhodnocované pásmo slouží chodci k překonání vozovky. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Počet měřených bodů byl stanoven na čtyři měřené body (2x2) pro každý z jízdních pruhů. Osvětlenost byla měřena na povrchu zpevněné plochy vozovky měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.3 Horizontální osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu / Horizontální osvětlenost v prostoru ostrůvku

Jde o prostor při levém okraji vozovky z pohledu přijíždějícího řidiče či o místo v prostoru vybudovaného ostrůvku. Vyhodnocované pásmo se převážně nacházelo na zpevněném chodníku a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tento prostor byl vyhodnocován po celé délce vyznačeného přechodu v šíři 1 m. Počet měřených bodů byl stanoven na dva měřené body. Osvětlenost byla měřena na povrchu zpevněné plochy chodníku měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.4 Horizontální osvětlenost v jízdním pruhu před přechodem

Tento prostor vytyčuje úsek vozovky před posuzovaným přechodem. Konkrétně mezi dvěma světelnými body nejbližší k přechodu. Tento prostor poskytuje informaci o osvětlenosti části adaptačního pásma před přechodem. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Počet měřených bodů byl stanoven na pět měřených bodů (5x1) pro každý z jízdních pruhů. Osvětlenost byla měřena na povrchu zpevněné plochy vozovky měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.5 Horizontální osvětlenost v jízdním pruhu za přechodem

Tento prostor vytyčuje úsek vozovky za posuzovaným přechodem. Konkrétně mezi dvěma světelnými body nejbližší k přechodu. Tento prostor poskytuje informaci o osvětlenosti části adaptačního pásma za přechodem. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Počet měřených bodů byl stanoven na pět měřených bodů (5x1) pro každý z jízdních pruhů. Osvětlenost byla měřena na povrchu zpevněné plochy vozovky měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.6 Vertikální osvětlenost nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený) 0,9 m nad vozovkou

Jde o prostor při pravém okraji vozovky z pohledu přijíždějícího řidiče. Vyhodnocované pásmo se převážně nacházelo na zpevněném chodníku a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tento prostor byl vyhodnocován po celé délce vyznačeného přechodu v šíři 1 m. Počet měřených bodů byl stanoven na dva měřené body. Osvětlenost byla měřena 0,9 m nad povrchem zpevněné plochy chodníku měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

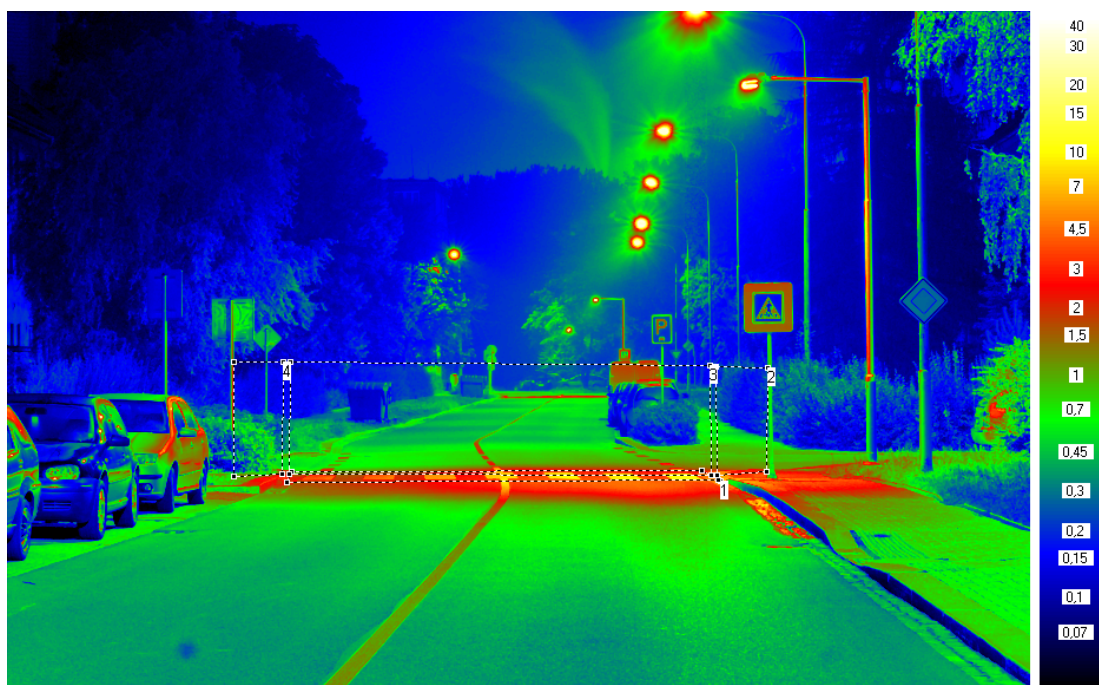
9.1.7 Vertikální osvětlenost přechodu pro chodce (základní prostor) 0,9m nad vozovkou

Tento prostor se nalézá na vozovce tam, kde je přechod pro chodce vyznačen vodorovným značením. Vyhodnocované pásmo slouží chodci k překonání vozovky. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Počet měřených bodů byl stanoven na čtyři měřené body (2x2) pro každý z jízdních pruhů. Osvětlenost byla měřena 0,9 m nad povrchem zpevněné plochy vozovky měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.8 Vertikální osvětlenost nástupního místa v opačném jízdním pruhu 0,9 m nad vozovkou / Vertikální osvětlenost v prostoru ostrůvku 0,9 m nad vozovkou

Jde o prostor při levém okraji vozovky z pohledu přijíždějícího řidiče či o místo v prostoru vybudovaného ostrůvku. Vyhodnocované pásmo se převážně nacházelo na zpevněném chodníku a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tento prostor byl vyhodnocován po celé délce vyznačeného přechodu v šíři 1 m. Počet měřených bodů byl stanoven na dva měřené body. Osvětlenost byla měřena 0,9 m nad povrchem zpevněné plochy chodníku měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.9 Vertikální osvětlenost v jízdním pruhu 60 m před přechodem - 1,5 m nad vozovkou



Obr. 48 Prostory hodnocené jasovou analýzou

Byl naměřen příspěvek vertikální složky osvětlenosti ve výšce 1,5 m nad povrchem zpevněné plochy chodníku měřicím přístrojem kalibrovaným luxmetrem od společnosti METRA Blansko typ PU 550. Naměřený bod byl vždy jeden v ose vozovky pro každý jízdní pruh. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledek zapsán do protokolu.

9.1.10 Jas přechodu pro chodce (základní prostor)

Tento prostor se nalézá na vozovce tam, kde je přechod pro chodce vyznačen vodorovným značením. Vyhodnocované pásmo slouží chodci k překonání vozovky. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Průměrný jas byl vyhodnocován v softwaru pro vyhodnocování jasů LMK2000 z pořízených snímků jasovým analyzátozem LMK mobile advanced, konkrétně digitálním fotoaparátem CANON EOS 350D.

9.1.11 Jas pozadí nástupního místa (doplňkový prostor neprodloužený)

Jde o plochu v zorném poli řidiče při pravém okraji vozovky z pohledu příjezdějícího řidiče. Vyhodnocovaná plocha se převážně nacházela nad zpevněným chodníkem a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tato plocha byla vyhodnocována v šíři 1 m a výšce 2 m. Průměrný jas byl vyhodnocován v softwaru pro vyhodnocování jasů LMK2000 z pořízených snímků jasovým analyzátozem LMK mobile advanced, konkrétně digitálním fotoaparátem CANON EOS 350D.

9.1.12 Jas pozadí přechodu pro chodce (základní prostor)

Tuto plochu tvoří část vozovky nad místem, kde je přechod pro chodce vyznačen vodorovným značením a okolí nad touto plochou ve výšce shodné cca 2 m. Vyhodnocované pásmo slouží chodci k překonání vozovky. Byly vyhodnocovány všechny jízdní pruhy v daném směru. Průměrný jas byl vyhodnocován v softwaru pro vyhodnocování jasů LMK2000 z pořízených snímků jasovým analyzátozem LMK mobile advanced, konkrétně digitálním fotoaparátem CANON EOS 350D.

9.1.13 Jas pozadí nástupního místa v opačném jízdním pruhu / Jas pozadí v prostoru ostrůvku

Jde o plochu v zorném poli řidiče při levém okraji vozovky z pohledu příjezdějícího řidiče či o plochu nad prostorem ostrůvku. Vyhodnocovaná plocha se nacházela nad zpevněným chodníkem či ostrůvkem a chodci slouží jako rozhledové místo před vstupem na vozovku. Tato plocha byla vyhodnocována v šíři 1 m a výšce 2 m. Průměrný jas byl vyhodnocován v softwaru pro vyhodnocování jasů LMK2000 z pořízených snímků jasovým analyzátozem LMK mobile advanced, konkrétně digitálním fotoaparátem CANON EOS 350D.

9.2 Stanovení testovaných hypotéz

Pro ověření, zda předpoklady při vytváření metodiky přisvětlování přechodů pro chodce jsou správné, bylo ověřeno několik hypotéz.

Přehled hypotéz:

1. čím vyšší je horizontální osvětlenost komunikace, tím vyšší je jas pozadí
2. jas pozadí přechodu je vyšší než jas pozadí nástupu či ostrůvku
3. jas pozadí přechodu je v obou směrech stejný
4. horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná
5. horizontální osvětlenost přechodu je vyšší než osvětlenost komunikace (kolikrát)
6. jas přechodu je vyšší než jas pozadí (kolikrát)
7. čím vyšší je horizontální osvětlenost přechodu, tím vyšší je svislá osvětlenost přechodu

9.3 Testování hypotézy

Je zřejmé, že o správnosti hypotézy by bylo možné teoreticky rozhodnout na základě vyčerpávajícího šetření všech přechodů pro chodce. Takovéto vyčerpávající šetření je však neekonomické a také technicky neproveditelné. Pro ověření správnosti vyslovené hypotézy je proto použit vhodný výběrový soubor. Proces ověřování správnosti statistické hypotézy pomocí výsledků získaných z výběrového šetření se nazývá testování hypotéz. Pro testování výše popsaných hypotéz budou použity následující testy:

9.3.1 Párové testy

Je použita, pokud při každé z n statistických jednotek jsou zjišťovány hodnoty nějakých dvou spolu souvisejících znaků. Výsledkem zjišťování jsou pak dvojice náhodných veličin $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, které tvoří páry závislých pozorování (jde o veličiny zjišťované na stejné statistické jednotce).

Dále je možné ověřit, zda výběry $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ a $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ pocházejí z rozdělení se stejnými středními hodnotami μ_1 a μ_2 , čili testovat hypotézu

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (20)$$

vůči alternativě v jednom z tvarů

$$H_A: \mu_1 < \mu_2, \text{ resp. } \mu_1 - \mu_2 < 0, \quad (21)$$

$$\mu_1 > \mu_2, \text{ resp. } \mu_1 - \mu_2 > 0, \quad (22)$$

$$\mu_1 \neq \mu_2, \text{ resp. } \mu_1 - \mu_2 \neq 0. \quad (23)$$

Definice souboru rozdílů (diferencí)

$$D = (D_1, D_2, \dots, D_n), \text{ kde } D_i = X_i - Y_i. \quad (24)$$

Lze předpokládat, že náhodné veličiny (D_1, D_2, \dots, D_n) jsou nezávislé a že mají stejné rozdělení se střední hodnotou $\mu = \mu_1 - \mu_2$. Test o shodě dvou středních hodnot prováděný na základě dvou závislých výběrů můžeme převést na jednovýběrový test o střední hodnotě aplikovaný na soubor diferencí (rozdílů) D , tzn., můžeme testovat hypotézu

$$H_0: \mu = 0 \quad (25)$$

vůči alternativě v jednom z tvarů

$$H_A: \mu < 0, \quad (26)$$

$$\mu > 0 \quad (27)$$

$$\mu \neq 0 \quad (28)$$

Lze-li předpokládat normální rozdělení veličin (D_1, D_2, \dots, D_n) , můžeme použít jednovýběrový t test, nazývaný v tomto případě párový t test.

Mají-li veličiny (D_1, D_2, \dots, D_n) spojitě rozdělení s hustotou symetrickou kolem mediánu, pak hypotézu o tomto mediánu můžeme testovat jednovýběrovým Wilcoxonovým testem (tzv. párový Wilcoxonův test), popřípadě mediánovým testem, kterému v případě párového testu říkáme test znaménkový.

9.3.2 Testy o střední hodnotě normálního rozdělení

Za předpokladu, že základní soubor (populace) je rozdělen normálně se střední hodnotou μ a rozptylem σ^2 . Je předpokládáno, že parametr μ neznáme. Na základě výběru X_1, X_2, \dots, X_n ověřujeme předpoklad, že se střední hodnota (populační průměr) μ rovná určité hodnotě μ_0 .

Nejlepším bodovým odhadem neznámé střední hodnoty je výběrový průměr \bar{x} . Je ověřováno, zda se výběrový průměr (\bar{x}) a populační průměr (střední hodnota μ_0) liší statisticky významně nebo zda lze jejich rozdíl přisoudit náhodným vlivům.

Nulová hypotéza je zvolena ve tvaru

$$H_0: \mu = \mu_0. \quad (29)$$

u alternativy lze stanovit tři možnosti.

$$H_A: \mu < \mu_0 \quad (30)$$

$$\mu > \mu_0, \quad (31)$$

$$\mu \neq \mu_0. \quad (32)$$

Volba vhodné alternativy je při čistém testu významnosti dána pozorovanou hodnotou příslušné výběrové statistiky, tj. průměru. Je-li průměr \bar{x} jednoznačně nižší než testována hodnota μ_0 , bude zvolena alternativa ve tvaru (30). Je-li průměr \bar{x} jednoznačně vyšší než testována hodnota μ_0 , bude zvolena alternativa ve tvaru (31). Pohybuje-li se průměr \bar{x} v blízkosti μ_0 , bude zvolena alternativa ve tvaru (32).

Volba testového kritéria závisí na tom, zda je znám populační rozptyl σ^2 .

9.3.2.1 Jednovýběrový z test

Má-li základní soubor normální rozdělení o známém rozptylu σ^2 , je použit tzv. jednovýběrový z test.

Jako testové kritérium je použita výběrová charakteristika

$$T(X) = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (33)$$

kteřá má v případě platnosti nulové hypotézy normované normální rozdělení. Dále pokračujeme dle obecného postupu čistého testu významnosti.

9.3.2.2 Jednovýběrový t test

Pokud je základní soubor normálně rozdělen s neznámou střední hodnotou μ a neznámým rozptylem σ^2 , je použit k ověření předpokladu, že se střední hodnota (populační průměr) μ rovná určité hodnotě, μ_0 jednovýběrový t test.

Jako testové kritérium je použita výběrová charakteristika

$$T(X) = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n} \quad (34)$$

kteřá má v případě platnosti nulové hypotézy Studentovo rozdělení s $n - 1$ stupni volnosti.

Dále pokračujeme dle obecného postupu čistého testu významnosti.

9.3.3 Kvantilový test

Kvantilový test umožňuje na základě výběru X_1, X_2, \dots, X_n ověřit předpoklad, že se 100p% kvantil x_p rovná určité hodnotě x_{p_0} . Tento test patří do skupiny neparametrických testů, tj. testů, které nepředpokládají určité rozdělení populace. Je použit zejména jako mediánový test v případech,

kdy chceme testovat střední hodnotu základního souboru, která má výrazně zešikmené rozdělení. Jelikož tento test má malou sílu, je vhodné mít k dispozici výběr o větším rozsahu.

V kvantilovém testu vycházíme z nulové hypotézy, že 100p% kvantil spojitě náhodné veličiny X je roven konstantě x_{p_0} .

$$H_0: \quad x_p = x_{p_0} \quad (35)$$

Při volbě alternativní hypotézy lze stanovit tři možnosti.

$$H_A: \quad x_p < x_{p_0} \quad (36)$$

$$x_p > x_{p_0} \quad (37)$$

$$x_p \neq x_{p_0}. \quad (38)$$

Volba vhodné alternativy je dána výběrovým kvantilem \tilde{x}_p . Je-li výběrový kvantil jednoznačně nižší než testována hodnota x_{p_0} , je zvolena alternativa ve tvaru (36). Je-li výběrový kvantil jednoznačně vyšší než testována hodnota x_{p_0} , je zvolena alternativa ve tvaru (37). Pohybuje-li se výběrový kvantil v blízkosti x_{p_0} , je zvolena alternativa ve tvaru (38).

Mějme náhodný výběr X_1, X_2, \dots, X_n . Necht' náhodná veličina Y modeluje počet pozorování v náhodném výběru, u nichž je pozorovaná hodnota náhodné veličiny X menší než testována hodnota x_{p_0} , tj. $x < x_{p_0}$.

Je zřejmé, že platí-li nulová hypotéza, pak pravděpodobnost, že nějaké pozorování bude menší než x_{p_0} , je p . Počet pozorování v náhodném výběru, která jsou menší než x_{p_0} , má proto, za předpokladu platnosti nulové hypotézy, binomické rozdělení $Bi(n; p)$.

Náhodnou veličinu Y lze použít jako testové kritérium.

$$T(X) = Y \quad (39)$$

Kde Y modeluje počet pozorování v náhodném výběru, která jsou menší než x_{p_0} . Za předpokladu platnosti nulové hypotézy má testové kritérium binomické rozdělení $Bi(n; p)$.

Dále pak pokračujeme podle obecného schématu čistého testu významnosti.

9.3.4 Jednovýběrový Wilcoxonův test

Dalším příkladem neparametrického testu je Wilcoxonův test. Pokud máme náhodný výběr X_1, \dots, X_n ze spojitěho rozdělení s hustotou f , která je symetrická kolem bodu a . Z toho plyne, že a musí být rovno mediánu $x_{0,5}$. Jednovýběrový Wilcoxonův test je určen k testování hypotézy

$$H_0: x_{0,5} = x_{0,5_0}. \quad (40)$$

Při volbě alternativní hypotézy je voleno ze tří možností.

$$H_A: x_{0,5} < x_{0,5_0} \quad (41)$$

$$x_{0,5} > x_{0,5_0} \quad (42)$$

$$x_{0,5} \neq x_{0,5_0}. \quad (43)$$

Volba vhodné alternativy je dána výběrovým kvantilem $\tilde{x}_{0,5}$. Je-li výběrový kvantil jednoznačně nižší než testovaná hodnota $x_{0,5_0}$, je zvolena alternativa ve tvaru (41). Je-li výběrový kvantil jednoznačně vyšší než testovaná hodnota $x_{0,5_0}$, je zvolena alternativa ve tvaru (42). Pohybuje-li se výběrový kvantil v blízkosti $x_{0,5_0}$, je zvolena alternativa ve tvaru (43).

Je-li některá z veličin X_1, X_2, \dots, X_n rovna testované hodnotě $x_{0,5_0}$, obvykle je toto pozorování z výběrového souboru vypuštěno. Je položeno $Y_i = X_i - x_{0,5_0}$, $i = 1, 2, \dots, n$. Veličiny Y_i budou seřazeny vzestupně podle jejich absolutní hodnoty.

$$|Y_{(1)}| \leq |Y_{(2)}| \leq \dots \leq |Y_{(n)}| \quad (44)$$

Dále bude označeno R_i^+ pořadí veličiny $|Y_{(i)}|$. Necht'

$$S^+ = \sum_{Y_i \geq 0} R_i^+, \quad S^- = \sum_{Y_i < 0} R_i^+. \quad (45)$$

Testové kritérium má tvar

$$T(X) = \min(S^+, S^-) \quad (46)$$

Je-li alternativní hypotéza ve tvaru (43), pak, dle klasického testu, nulovou hypotézu je zamítnuta na hladině významnosti α v případě, že pozorovaná hodnota testového kritéria je menší nebo rovna tabelované hodnotě $\omega_n \alpha$.

Je-li k dispozici výběr o dostatečně velkém rozsahu, je použito toho, že S^+ má asymptoticky normální rozdělení s parametry

$$E(S^+) = \frac{1}{4}n(n+1), \quad D(S^+) = \frac{1}{24}n(n+1)(2n+1). \quad (47)$$

Testové kritérium pak má tvar

$$T(X) = \frac{S^+ - E(S^+)}{\sqrt{D(S^+)}} \quad (48)$$

a při platnosti nulové hypotézy má normované normální rozdělení $N(0; 1)$. Dále je pokračováno podle obecného schématu čistého testu významnosti. [15], [16].

9.4 Metodika při posuzování významnosti

9.4.1 Výpočet limitů shody

Mějme náhodné veličiny X, Y . Necht' náhodná veličina $Z = \ln X - \ln Y$ má normální rozdělení se střední hodnotou μ_Z a směrodatnou odchylkou

$$\sigma_Z \left(Z \rightarrow N(\mu_Z; \sigma_Z^2) \right). \quad (49)$$

Je zřejmé, že

$$U = \frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} \quad (50)$$

má normované normální rozdělení. Proto

$$P \left(u_{\frac{\alpha}{2}} < U < u_{1-\frac{\alpha}{2}} \right) = 1 - \alpha, \quad (51)$$

kde u_p je p-quantil normovaného normálního rozdělení. Poněvadž

$$u_{\frac{\alpha}{2}} = -u_{1-\frac{\alpha}{2}}, \quad (52)$$

platí rovněž

$$P \left(-u_{1-\frac{\alpha}{2}} < U < u_{1-\frac{\alpha}{2}} \right) = 1 - \alpha. \quad (53)$$

Lze snadno ukázat, že

$$P \left(\mu_Z - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z < Z < \mu_Z + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z \right) = 1 - \alpha \quad (54)$$

a tedy

$$P \left(e^{\mu_Z - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z} < \frac{X}{Y} < e^{\mu_Z + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z} \right) = 1 - \alpha \quad (55)$$

$$\left(e^{\mu_Z - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z}; e^{\mu_Z + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_Z} \right) \quad (56)$$

nazvěme **100(1 - α)% limity shody náhodné veličiny $\frac{X}{Y}$.**

9.4.2 Párové t-testy a stanovení kritických hodnot pozorovaných poměrů náhodných veličin

Mějme náhodné veličiny X, Y . Nechť náhodná veličina $Z = \ln X - \ln Y$ má normální rozdělení se střední hodnotou μ_Z a směrodatnou odchylkou

$$\sigma_Z \left(Z \rightarrow N(\mu_Z; \sigma_Z^2) \right). \quad (57)$$

Chceme-li testovat nulovou hypotézu

$$H_0: \mu_Z = 0 \quad (58)$$

oproti alternativě

$$H_A: \mu_Z \neq 0, \quad (59)$$

pak lze použít **párový t-test**.

Testové kritérium

$$T(z) = \frac{\bar{z} - \mu_Z}{\sigma_Z} \sqrt{n} \quad (60)$$

má za předpokladu platnosti nulové hypotézy normované normální rozdělení. Nulovou hypotézu na hladině významnosti α nezamítáme, pokud

$$T(z)|_{H_0} \in \left(u_{\frac{\alpha}{2}}; u_{1-\frac{\alpha}{2}} \right), \quad (61)$$

tj. pokud

$$\bar{z} \in \left(-u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{n}}; u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{n}} \right). \quad (62)$$

Lze snadno ukázat, že

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \frac{\sum_{(i)} (\ln x_i - \ln y_i)}{n} = \frac{\sum_{(i)} \ln \frac{x_i}{y_i}}{n} = \frac{\ln \prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}}{n} \\ &= \ln \sqrt[n]{\prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}} \end{aligned} \quad (63)$$

kde $\sqrt[n]{\prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}}$ je geometrický průměr $\left\{ \frac{x_1}{y_1}, \frac{x_2}{y_2}, \dots, \frac{x_n}{y_n} \right\}$. $\sqrt[n]{\prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}}$ lze použít jako bodový odhad střední hodnoty $\frac{x}{y}$.

Z výše uvedeného vyplývá, že nulovou hypotézu na hladině významnosti α nezamítáme, pokud

$$\sqrt{n} \sqrt{\prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}} \in \left(e^{-u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{n}}}, e^{u_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{n}}} \right) \quad (64)$$

Obdobně lze ukázat, že testujeme-li nulovou hypotézu

$$H_0: \mu_Z = 0 \quad (65)$$

oproti alternativě

$$H_A: \mu_Z > 0, \quad (66)$$

pak ji nezamítneme na hladině významnosti α v případě, že

$$\sqrt{n} \sqrt{\prod_{(i)} \frac{x_i}{y_i}} \in \left(-\infty; e^{u_{1-\alpha} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{n}}} \right). \quad (67)$$

9.4.3 Pearsonův korelační koeficient

Korelační koeficient ρ dokážeme přesně určit pouze tehdy, známe-li sdružené rozdělení náhodného vektoru $(X; Y)$. V praxi však máme většinou k dispozici pouze výběr $(X_1; Y_1), \dots, (X_n; Y_n)$ z nějakého dvourozměrného rozdělení. Necht'

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (68)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (69)$$

$$S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (70)$$

$$S_Y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (71)$$

$$\begin{aligned} S_{XY} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2)(\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2)}} \end{aligned} \quad (72)$$

Je rozumné definovat výběrový korelační koeficient r pomocí vztahu analogického vzorci definujícímu Pearsonův korelační koeficient, v němž se neznámá (populační) kovariance a neznámé (populační) rozptyly nahradí jejich nestrannými odhady.

$$r = \begin{cases} \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_X^2 \cdot S_Y^2}}, & S_X^2, S_Y^2 \neq 0, \\ 0 & \end{cases} \quad (73)$$

Takto definovaný odhad korelačního koeficientu bývá označován jako **Pearsonův korelační koeficient**.

Zjistíme-li, že výběrový korelační koeficient $r \neq 0$, zpravidla nás zajímá, zda je indikovaná korelace statisticky významná. Chceme testovat nulovou hypotézu

$$H_0: \rho = 0 \quad (74)$$

vůči alternativě

$$H_A: H_A: \rho \neq 0, \quad (75)$$

resp. $\rho < 0$, resp. $\rho > 0$:

Nechť $(X_1; Y_1), \dots, (X_n; Y_n)$ je výběr z dvourozměrného normálního rozdělení, tj. z rozdělení, jehož sdružená hustota pravděpodobnosti je dána vztahem

$$f(x; y) = \frac{1}{2\pi\sigma_X\sigma_Y\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{x-\mu_X}{\sigma_X}\right)^2 - 2\rho\frac{(x-\mu_X)(y-\mu_Y)}{\sigma_X\sigma_Y} + \left(\frac{y-\mu_Y}{\sigma_Y}\right)^2\right]} \quad (76)$$

Pak má za předpokladu platnosti nulové hypotézy testová statistika

$$T = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (77)$$

Studentovo rozdělení s $n - 2$ stupni volnosti. Rozhodnutí o výsledku testu provedeme na základě standardně vypočtené *p-hodnoty*.

9.4.4 Spearmanův korelační koeficient

V případě, že chceme analyzovat závislost dvou spojitých náhodných veličin, které nemají dvourozměrné normální rozdělení, můžeme použít například **Spearmanův koeficient korelace**.

Mějme náhodný výběr $(X_1; Y_1), \dots, (X_n; Y_n)$ z dvourozměrného rozdělení. Nechť R_{X_1}, \dots, R_{X_n} jsou pořadí veličin X_1, \dots, X_n a nechť R_{Y_1}, \dots, R_{Y_n} jsou pořadí veličin Y_1, \dots, Y_n .

Kdyby s rostoucími hodnotami X_i vzrůstaly i hodnoty Y_i , byla by zřejmě pořadí obou veličin shodná, tj. $R_{X_i} = R_{Y_i}$ pro $i = 1, \dots, n$. Jestliže s rostoucími hodnotami X_i klesají hodnoty Y_i , jsou pořadí obou veličin právě opačná. Při nezávislosti veličin X a Y jsou pořadí zpřeházená zcela náhodně. Spearmanův korelační koeficient r_S se proto definuje pomocí diferencí pořadí $(R_{X_i} - R_{Y_i})$ jako

$$r_S = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n (R_{X_i} - R_{Y_i})^2. \quad (78)$$

Při shodném pořadí nabývá koeficient r_S maximální hodnoty 1, při opačném pořadí minimální hodnoty -1. V ostatních případech je $-1 < r_S < 1$. Je-li hodnota Spearmanova korelačního koeficientu $r_S = 0$, pořadí veličin X a Y jsou náhodně zpřeházená, mezi sledovanými veličinami tedy není závislost.

Pokud se v náhodných výběrech, z nichž je r_S počítán, vyskytuje mnoho shod (tj. stejně velkých pozorování), doporučuje se používat **korigovaný Spearmanův korelační koeficient** $r_{S_{korig}}$. Označme t_X počty stejně velkých X -ových hodnot. (Je-li mezi pozorovanými hodnotami náhodné veličiny X několik skupin stejně velkých pozorování, pak t_X jsou rozsahy těchto skupin.) Podobně definujeme t_Y . Pak

$$r_{S_{korig}} = 1 - \frac{6}{n^3 - n - T_X - T_Y} \sum_{i=1}^n (R_{X_i} - R_{Y_i})^2, \quad (79)$$

kde

$$T_X = \frac{1}{2} \sum (t_X^3 - t_X) \quad (80)$$

$$T_Y = \frac{1}{2} \sum (t_Y^3 - t_Y) \quad (81)$$

Je-li hodnota Spearmanova korelačního koeficientu r_S blízká nule, chceme zpravidla testovat, zda je odchylka koeficientu r_S od nuly náhodná či statisticky významná. Jsou-li odchylky Spearmanova korelačního koeficientu od nuly jen náhodné, jsou veličiny X a Y nezávislé.

H_0 : X, Y jsou **nezávislé** náhodné veličiny.

H_A : X, Y jsou **závislé** náhodné veličiny.

Testovou statistikou je Spearmanův korelační koeficient r_S . Nulovou hypotézu zamítáme pokud $|r_S| \geq r_S^*(\alpha)$, kde $r_S^*(\alpha)$ je kritická hodnota Spearmanova korelačního koeficientu. Pro rozsah výběru $n \leq 30$ a hladiny významnosti 0,05, resp. 0,01 jsou kritické hodnoty $r_S^*(\alpha; n)$ tabelovány. Je-li rozsah výběru $n > 30$, pak

$$r_S^*(\alpha; n) = \frac{u_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n-1}}, \quad (82)$$

kde $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ je $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ kvantil normovaného normálního rozdělení.

9.4.5 Statistická, věcná a praktická významnost

Použití slova "významnost" vede k mnoha nedorozuměním, zda je míněna významnost statistická, nebo praktická. Obvyklá praxe je pokládat statisticky významný výsledek za skutečný efekt, v důsledku toho i za výsledek prakticky důležitý, a naopak. Tato interpretace však nemusí být nutně oprávněná.

Vědecká průkaznost výsledků výzkumu závisí na statistické významnosti jedině tehdy, jestliže je nutno k ověření vědecké hypotézy použít nikoli popisné, ale induktivní statistické usuzování, tj. jen ve dvou případech:

Byl-li proveden náhodný reprezentativní výběr z tzv. opory výběru a cílem je provést zobecnění z výběru na základní soubor s přijatelnou chybou.

Byl-li připraven design experimentu a cílem je zhodnotit, zda výsledky překračují náhodnost experimentu, kterou jsme tak do něj vložili.

V souladu s výše uvedenými předpoklady pro použití statistické významnosti má tvrzení, že výsledky jsou statisticky významné na hladině významnosti 0,05, následující význam:

U náhodného reprezentativního výběru znamená, že riziko neplatnosti našich závěrů vzniklé v důsledku zobecnění z náhodného reprezentativního výběru na celý základní soubor je nejvýše 0,05 (5 %).

Jde o pravděpodobnost (riziko) tzv. chyby I. druhu, že nesprávně zamítneme nulovou hypotézu H_0 .

U znáhodněného experimentu znamená pravděpodobnost nejvýše 0,05, že zjištěný výsledný efekt pokusu je jen v rámci náhodnosti způsobené námi provedeným znáhodněním a nebyl způsoben faktorem, kterým jsme podle naší hypotézy záměrně působili. Tedy např. riziko, že výsledný rozdíl mezi výsledky pokusné a kontrolní skupiny je způsoben pouze náhodnými vlivy.

Tvrzení, že výsledky jsou statisticky významné, tak neznamená ani to, že jsou významné ve smyslu vědeckého důkazu, ani to, že jsou „důležité“ ve smyslu selského rozumu.

Nevýhodou statistické významnosti je také to, že u velmi velkých výběrů jsou nepatrný rozdíl nebo korelace statisticky významné a u malých výběrů i velký rozdíl či vysoká korelace statisticky nevýznamné. Jednou z hlavních výhod vědecké významnosti tak je to, že (na rozdíl od statistické významnosti) nezávisí na rozsahu výběru n .

Jak již bylo uvedeno výše, “rozumné” použití statistické významnosti je omezeno pouze na reprezentativní výběry pořízené metodami náhodného výběru a na znáhodněné pokusy. Proto se stále více doporučuje používat nestatistické hodnocení velikosti rozdílu či vztahu ve výzkumných výsledcích pomocí tzv. věcné významnosti (angl. „size of effect“).

Jednou z měr věcné významnosti je tzv. Cohenovo d . V případě analýzy věcné významnosti střední hodnoty párových dat určíme Cohenovo d dle vztahu

$$d = \frac{|\bar{x}_{diff}|}{s_{diff}}, \quad (83)$$

kde \bar{x}_{diff} je aritmetický průměr a s_{diff} je směrodatná odchylka analyzovaných párových rozdílů.

Hodnocení věcné významnosti pak lze provést dle doporučené rozhodovací tabulky:

Tab. 31 Hodnocení věcné významnosti

$d < 0,2$	nízká věcná významnost
$0,2 \leq d < 0,8$	střední věcná významnost
$d \geq 0,8$	vysoká věcná významnost

V případě ověřování síly lineární závislosti mezi proměnnými pak lze použít například korelační koeficienty.

Kromě věcné významnosti je pak vhodné vzít při hodnocení výsledků rovněž významnost praktickou, která závisí na konkrétních poznatcích o analyzovaných datech. [15], [16].

9.5 Výsledky statistické analýzy

Při vyhodnocování hypotéz bylo používáno softwaru MS Excel 2010 a Statgraphics v. 5.0. Testované hypotézy pomáhají objasnit vztahy mezi jednotlivými světelně-technickými parametry. Důležitost závislosti mezi nimi je popsána vždy v úvodu jednotlivých hypotéz.

9.5.1 Čím vyšší je horizontální osvětlenost komunikace, tím vyšší je jas pozadí

U této hypotézy jde o základní předpoklad při určování parametrů osvětlenosti. Předpokládá se, že pokud bude komunikace osvětlena na vyšší hodnotu horizontální osvětlenosti, bude jas okolí vyšší.

9.5.1.1 Vyhodnocení

Vzhledem k tomu, že jas pozadí ani horizontální osvětlenost komunikace nelze modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), byla hypotéza ověřována pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Z výběrového souboru byly při analýze vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 29, 171, 172, 173 a 174, které byly identifikovány jako vlivné body.

V očištěných datech byla pozorována středně silná pozitivní korelace ($r_s = 0,423$), což podporuje ověřovanou hypotézu. Věcnou významnost hodnotíme jako střední. Testováním hypotézy o nulovosti korelačního koeficientu vůči alternativě, že korelace je pozitivní, bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že s rostoucí horizontální osvětleností komunikace statisticky významně roste jas pozadí ($r_s = 0,423$, $p - \text{hodnota} < 0,001$), hypotézu 1 lze tedy považovat za prokázanou.

Tab. 32 Tabulka vzájemné korelace

	Korelace mezi horizontální osvětleností komunikace a jasnem pozadí
Bodový odhad korelačního koeficientu	0,423
Věcná významnost (Spearmanův korelační koeficient r_s)	0,423 (střední)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	$< 0,001$

Tento poznatek je velice důležitý z hlediska projektování osvětlovacích soustav přechodů pro chodce, neboť požadované hodnoty na svislou osvětlenost na přechodu jsou odvozovány z jasu či horizontální osvětlenosti komunikace.

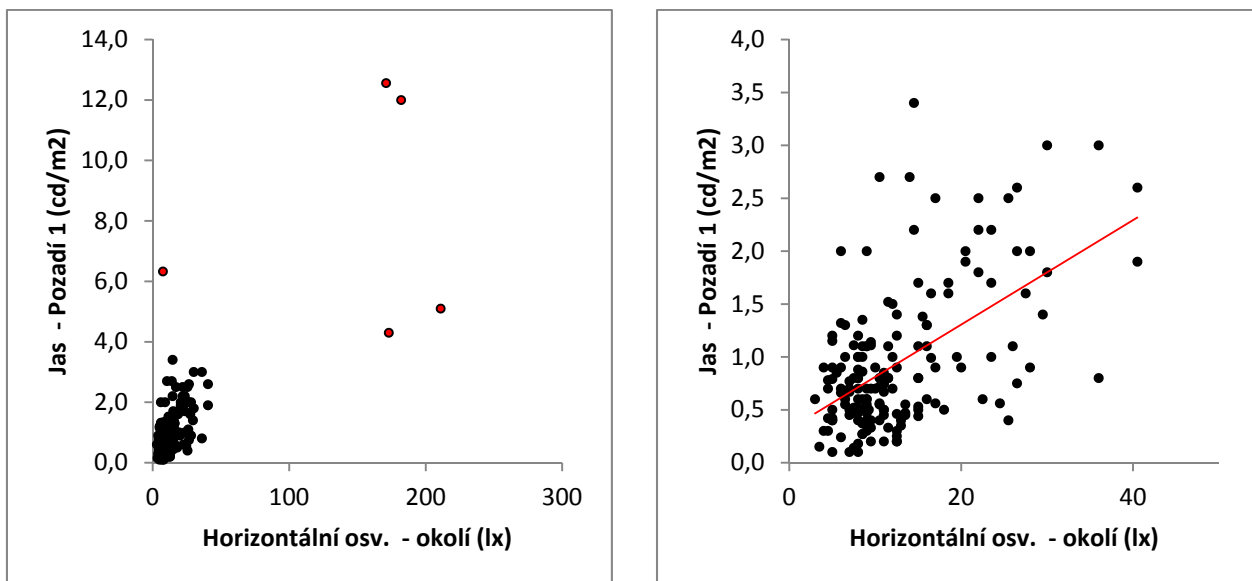
Statistická hypotéza

H_0 : Korelace mezi hor. osvětleností komunikace a jasnem pozadí se statisticky významně neliší od nuly.

H_A : Korelace mezi hor. osvětleností komunikace a jasnem pozadí je kladná.

$$r_s = 0,423$$

$$p - \text{hodnota} < 0,001$$



Obr. 49 Grafický výsledek vyhodnocování

V druhé části Obr. 49 můžeme pozorovat závislost jasu pozadí na horizontální osvětlenosti komunikace. Úsečka znázorňuje, že čím vyšší byla naměřena osvětlenost komunikace, tím vyšší byl jas pozadí.

Na první části Obr. 49 jsou viditelné vlivné body, které byly při vyhodnocování odstraněny, neboť by mohly výsledek negativně ovlivnit. Jde o přechody pro chodce s pořadovým číslem 29, 171, 172, 173 a 174.

Na Obr. 49 je v pozadí přechodu pro chodce svislá plocha domu, která má průměrný jas $6,3 \text{ cd/m}^2$. Tento jev se často vyskytoval u přechodů pro chodce, které byly v blízkosti křižovatek a zatáček, neboť se na těchto členitých úsecích dostávají do pozadí osvětlené domy, rostliny a jiné svislé plochy, které mají poměrně vyšší jas než při posuzování průměrného jasu pozadí na rovných úsecích.

*Obr. 50 Fotografie přechodu 29*

V Tab. 33 jsou vypočteny střední hodnoty jasů pozadí přechodu pro chodce pro jednotlivé skupiny osvětleností. Ve sloupci Pozadí 1 jsou znázorněny hodnoty, které se s osvětleností zvyšují.

Tab. 33 Tabulka vypočtených středních hodnot jasů pozadí

OSVĚTLENOST	Nástup 1 (cd/m^2)	Pozadí 1 (cd/m^2)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m^2)
E < 10lx	0,50	0,70	0,48
10lx > E < 20lx	0,40	0,70	0,53
20lx > E < 30lx	1,00	0,99	1,30
30lx > E < 50lx	1,00	1,97	1,47

9.5.1.2 Závěr

Díky prokázání hypotézy, která tvrdí, že čím vyšší je horizontální osvětlenost komunikace, tím vyšší je jas pozadí, máme statistickou jistotu, že vztah mezi horizontální osvětleností komunikace a jasem pozadí má přímou úměru. Výskyt vzdálených pozorování ukazuje na nutnost, že je důležité při návrhu osvětlovací soustavy pro přisvětlení přechodu pro chodce postupovat vždy individuálně, neboť se může stát, že vlivem vysokých jasů svislých ploch v okolí přechodu nebude přechod pro chodce přisvětlen dle předpokladů.

9.5.2 Jas pozadí přechodu je vyšší než jas pozadí nástupu či ostrůvku

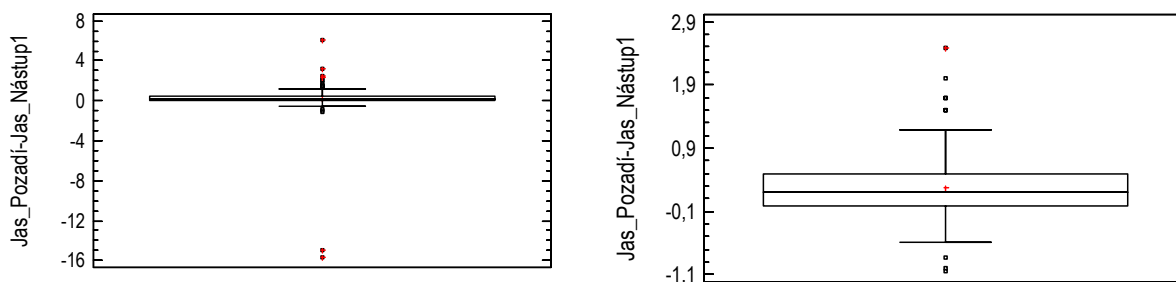
Jelikož jsou na nástupní místa a ostrůvky u přechodů kladeny nižší požadavky na svislou osvětlenost než na samotný přechod, bylo ověřováno, jestli je jas pozadí na úrovni přechodu pro chodce vyšší než jas pozadí na úrovni nástupních míst a ostrůvků.

9.5.2.1 Vyhodnocení

a) Jas pozadí je vyšší než jas nástupu.

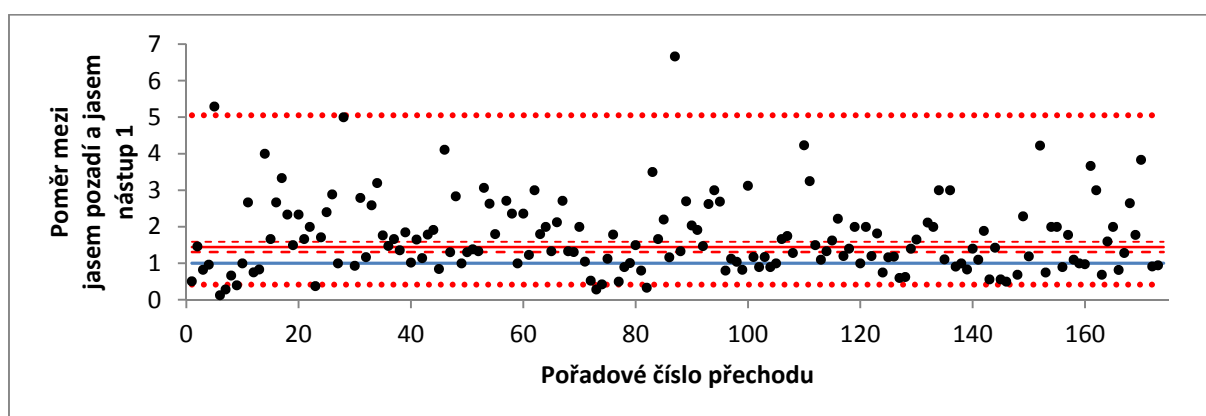
Jas pozadí ani nástupu 1 nelze modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, p – hodnota $< 0,001$), proto byla data logaritmována a následně podrobena párovému t-testu.

V případě analýzy rozdílu jasu pozadí a jasu nástupu byly z výběrového souboru vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 29, 56, 109, 131, 171 a 174, které byly identifikovány jako extrémní pozorování.



Obr. 51 Grafické znázornění analýzy rozdílu jasu pozadí a jasu nástupu

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako středně silná (Cohenovo $d = 0,57$). Poměr mezi jasnem pozadí a jasnem nástupu lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,4; 5,1), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (1,3; 1,6) – viz obr. a tab.



Obr. 52 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modrá čára označuje mez praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že jas pozadí je statisticky významně vyšší než jas nástupu ($x_{OBS} = 7,2$, $p - hodnota < 0,001$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi jasnem pozadí a jasnem nástupu ($\bar{x}_G = 1,4$) byl vyšší než příslušná kritická hodnota 1,1. Tzn., že rozdíl mezi jasnem pozadí a nástupu je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, že jas pozadí překročí jas nástupu v průměru o více než 10 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Jas pozadí se statisticky významně neliší od jasů nástupu.

H_A : Jas pozadí je statisticky významně vyšší než jas nástupu.

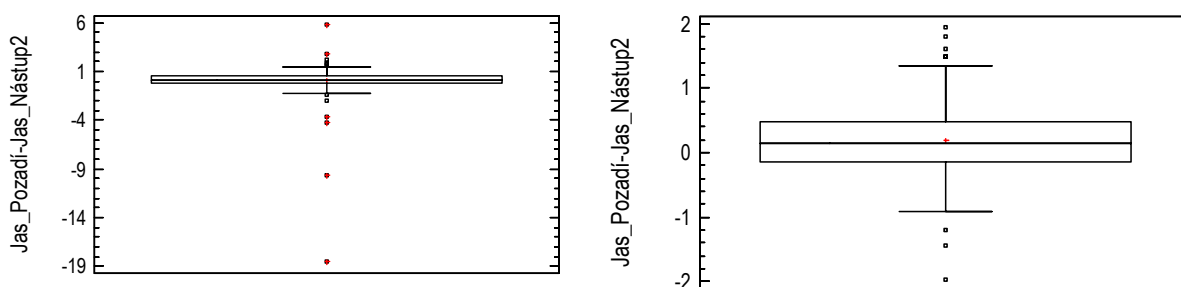
$$x_{OBS} = 7,2$$

$$p - hodnota < 0,001$$

b) Jas pozadí je vyšší než jas ostrůvku.

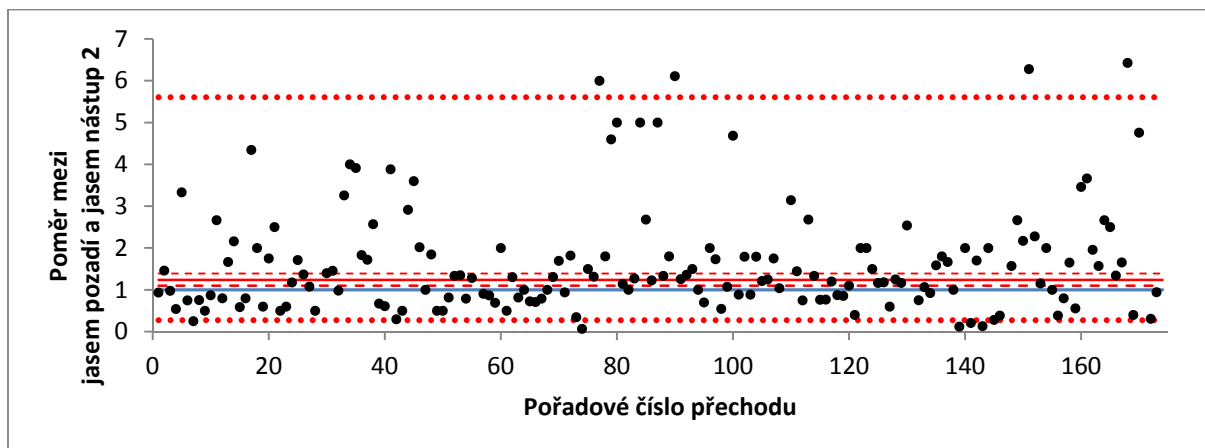
Jas pozadí ani ostrůvku nelze modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - hodnota < 0,001$), proto byla data logaritmována a následně podrobena párovému t-testu.

V případě analýzy rozdílu jasů pozadí a jasů ostrůvku byly z výběrového souboru vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 29, 139, 141, 143, 151, 172 a 174, které byly identifikovány jako extrémní pozorování.



Obr. 53 Grafické znázornění analýzy rozdílu jasů pozadí a jasů nástupu

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako středně silná (*Cohenovo* $d = 0,27$). Poměr mezi jasnem pozadí a jasnem nástupu lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,3; 5,6), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (1,1; 1,4) – viz Obr. 54.



Obr. 54: Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modrá čára označuje praktickou mez významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že jas pozadí je statisticky významně vyšší než jas ostrůvku ($x_{OBS} = 3,6$, $p - hodnota < 0,001$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi jasnem pozadí a jasnem nástupu ($\bar{x}_G = 1,2$) byl vyšší než příslušná kritická hodnota 1,1. Tzn., že rozdíl mezi jasnem pozadí a ostrůvku je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, že jas pozadí překročí jas ostrůvku v průměru o více než 10 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Jas pozadí se statisticky významně neliší od jas ostrůvku.

H_A : Jas pozadí je statisticky významně vyšší než jas ostrůvku.

$$x_{OBS} = 3,6$$

$$p - hodnota < 0,001$$

Tab. 34 Vypočtené hodnoty

	Jas pozadí / Jas nástupu	Jas pozadí / Jas ostrůvku
Bodový odhad středního poměru	1,4	1,2
95% intervalový odhad středního poměru	(1,3; 1,6)	(1,1; 1,4)
95% limity shody	(0,4; 5,1)	(0,3; 5,6)

Kritická hodnota středního poměru pro rozsah výběru 168 přechodů	> 1,1	> 1,1
Věcná významnost (<i>Cohenovo d</i>)	0,57(střední)	0,27 (střední)
Statistická významnost (<i>p – hodnota</i>)	< 0,001	< 0,001
Praktická významnost	Jas pozadí je větší než jas nástupu u cca 71% analyzovaných přechodů.	Jas pozadí je větší než jas ostrůvku u cca 60% analyzovaných přechodů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že jas pozadí je vyšší než jas nástupu i jas ostrůvku. Hypotézu tedy lze považovat za prokázanou.

Tab. 35 Tabulka vypočtených středních hodnot jasu pozadí

OSVĚTLENOST	Nástup 1 (cd/m^2)	Pozadí 1 (cd/m^2)	Nástup 2 / Ostrůvek (cd/m^2)
E < 10lx	0,50	0,70	0,48
10lx>E<20lx	0,40	0,70	0,53
20lx>E<30lx	1,00	0,99	1,30
30lx>E<50lx	1,00	1,97	1,47

V Tab. 35 vypočtených středních hodnot je znázorněno, jak se jas pozadí nástupů a přechodu mění s osvětleností okolních komunikací. Jas pozadí nástupů je nižší než jas pozadí přechodu. Odlišná je skupina pro osvětlenost 20-30 lx, kde je jas pozadí přechodu nižší.

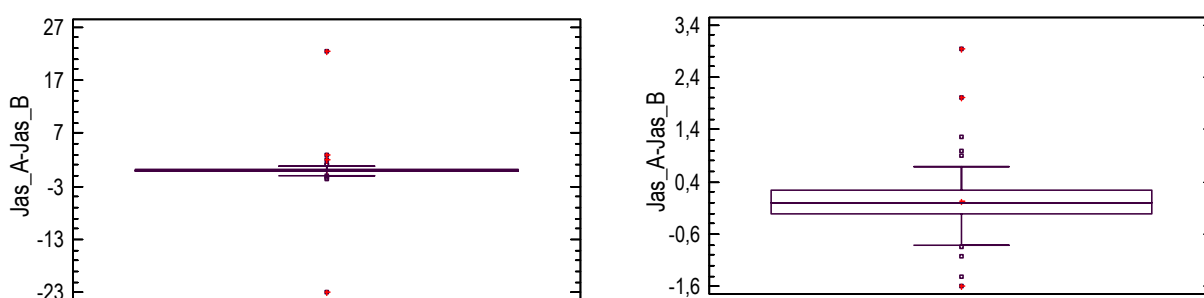
9.5.3 Jas pozadí přechodu je v obou směrech stejný

Dalším předpokladem je, že světelné podmínky pro oba jízdní směry jsou stejné. To znamená, že jasy pozadí přechodu jsou v obou jízdních pruzích stejné. Pokud by tento předpoklad byl prokázán, znamenalo by to, že osvětlovací soustavu přisvětlení přechodu pro chodce je možné projektovat jako symetrickou. Tedy požadavky na svislou osvětlenost na přechodu pro chodce by byly ve stejné třídě. Maximální rozdíl mezi jednotlivými třídami osvětlení se pohybuje maximálně o 50 %. Bylo tedy řešeno, jestli jsou světelné podmínky stejné v rozmezí 50 % rozdílu mezi jasnem pozadí v jednom jízdním směru a jasnem pozadí ve druhém jízdním pruhu.

9.5.3.1 Vyhodnocení

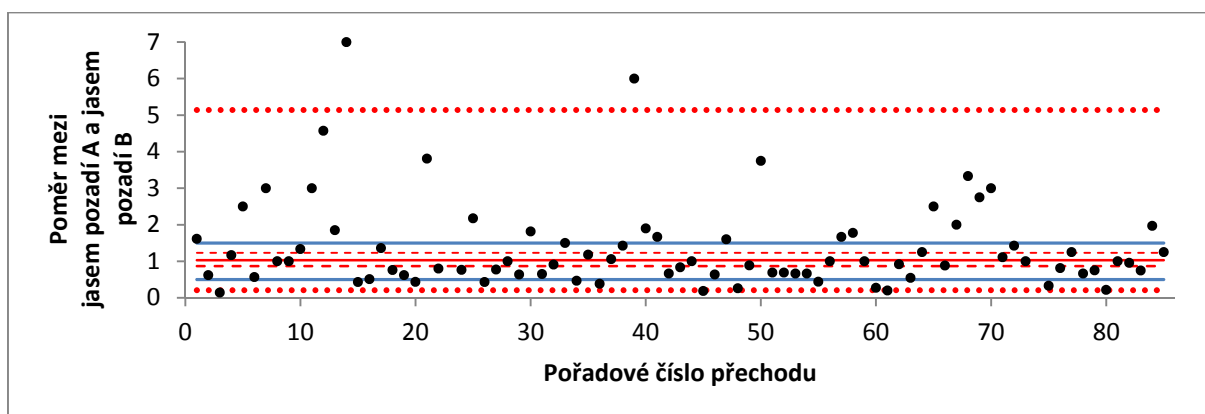
Vzhledem k tomu, že jas pozadí nelze ani v jednom ze směrů (A, B) modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě, následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu.

V případě analýzy rozdílu jasu pozadí ve směrech A, B byly z výběrového souboru vypuštěny záznamy o přechodech č. 86, 87 (poř. Č. 171, 172, 173, 174), které byly identifikovány jako extrémní pozorování a záznam o přechodu č. 74, u nějž je uveden nulový jas pozadí ve směru A (nelze zpracovat z důvodu logaritmizace dat).



Obr. 55 Grafické znázornění analýzy rozdílu jasu pozadí

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako velmi slabá ($\text{Cohenovo } d = 0,03$). Poměr mezi jasnem pozadí ve směru A a jasnem pozadí ve směru B lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,2; 5,1), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (0,9; 1,2) – viz obr.



Obr. 56 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modré čáry označují meze praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 nelze tvrdit, že jas pozadí ve směru A se statisticky významně liší od jasu pozadí ve směru B ($x_{OBS} = 0,353$, $p - \text{hodnota} = 0,724$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi jasnem pozadí a jasnem nástupu ($\bar{x}_G = 1,0$) leží v intervalu kritických hodnot (0,8; 1,2). Tzn., že rozdíl mezi jasnem pozadí v jednotlivých směrech je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se jasy v obou směrech budou lišit o více než 20 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Jas pozadí se statisticky významně neliší od jasu ostrůvku.

H_A : Jas pozadí je statisticky významně vyšší než jas ostrůvku.

$$x_{OBS} = 0,353$$

$$p - \text{hodnota} = 0,724$$

Tab. 36 Vypočtené hodnoty

	Jas pozadí A / Jas pozadí B
Bodový odhad středního poměru	1,0
95% intervalový odhad středního poměru	(0,9; 1,2)
95% limity shody	(0,2; 5,1)
Interval přípustných středních poměrů pro rozsah výběru 84 přechodů	(0,8; 1,2)
Věcná významnost (<i>Cohenovo d</i>)	0,03(velmi slabá)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	0,724
Praktická významnost	Poměr jasů pozadí A a B se liší o více než 50% u cca 55% přechodů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že jas pozadí je v obou směrech stejný. Hypotézu tedy lze považovat za statisticky prokázanou.

Z praktického hlediska je však hypotéza vyvrácena, neboť 55 % přechodů se liší o více jak 50% rozdíl mezi jasnem pozadí v jednom i druhém jízdním směru.



Obr. 57 Fotografie přechodu 19 a 20

Na Obr. 57 je znázorněn typický příklad pro rovný úsek komunikace, na kterém se vyskytuje osvětlený přechod pro chodce. Již z obrázku je zřejmé, že jas pozadí tvoří z velké části samotná komunikace, jelikož je komunikace nasvětlena rovnoměrně v obou směrech, je i jas pozadí stejný pro oba jízdní pruhy.

Případy stejného jasů pozadí v obou jízdních pruzích však byly pozorovány v menším množství. Z tohoto důvodu je potřeba k přisvětlování přechodu pro chodce přistupovat individuálně v každém jízdním směru.

9.5.4 Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná

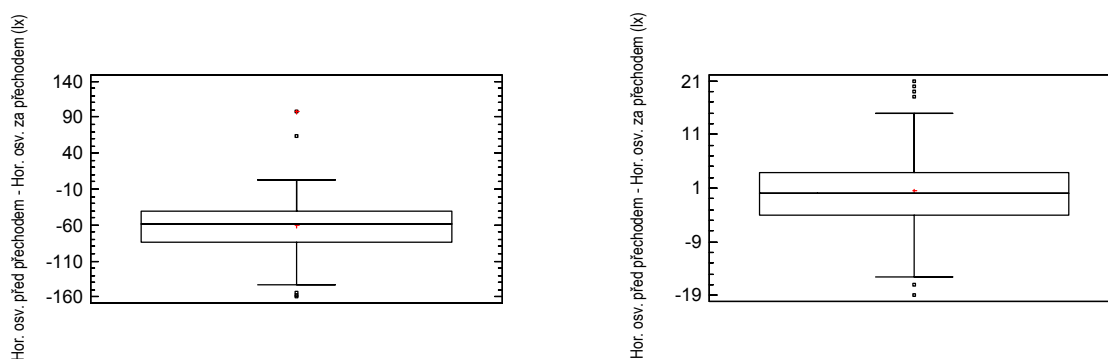
Stejně jako testování předchozí hypotézy, tak i ověřování této hypotézy má vyvrátit či potvrdit předpoklad, že světelné podmínky okolí přechodu pro chodce jsou stejné.

9.5.4.1 Vyhodnocení

a) Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná.

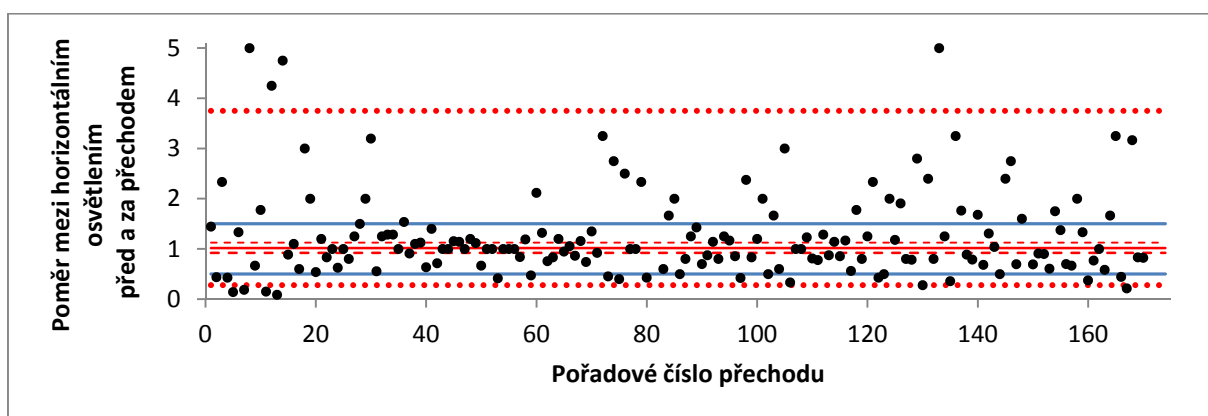
Horizontální osvětlenost před ani za přechodem nelze modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), proto byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě a následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu.

Z výběrového souboru byly pro tuto analýzu vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 149, 171, 172, 173 a 174, které byly identifikovány jako extrémní pozorování a záznamy o přechodech č. 81 a 82, u nichž jsou uvedeny nulové hodnoty horizontálního osvětlení před nebo za přechodem (nelze zpracovat z důvodu logaritmizace dat).



Obr. 58 Grafické znázornění analýzy horizontální osvětlenosti

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako velmi slabá (*Cohenovo* $d = 0,03$). Poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,3; 3,7), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (0,9; 1,1) – viz Obr. 59.



Obr. 59 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modré čáry označují meze praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 nelze tvrdit, že se horizontální osvětlenosti před a za přechodem statisticky významně liší ($x_{OBS} = 0,349$, p – hodnota = 0,727). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem ($\bar{x}_G = 1,0$) leží v intervalu kritických hodnot (0,9; 1,1). Tzn., že rozdíl mezi horizontální osvětleností před a za přechodem je se spolehlivostí 95% vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se horizontální osvětlenosti před a za přechodem budou lišit o více než 10 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně neliší.

H_A : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně liší.

$x_{OBS} = 0,349$

$p - \text{hodnota} = 0,727$

Tab. 37 Vypočtené hodnoty

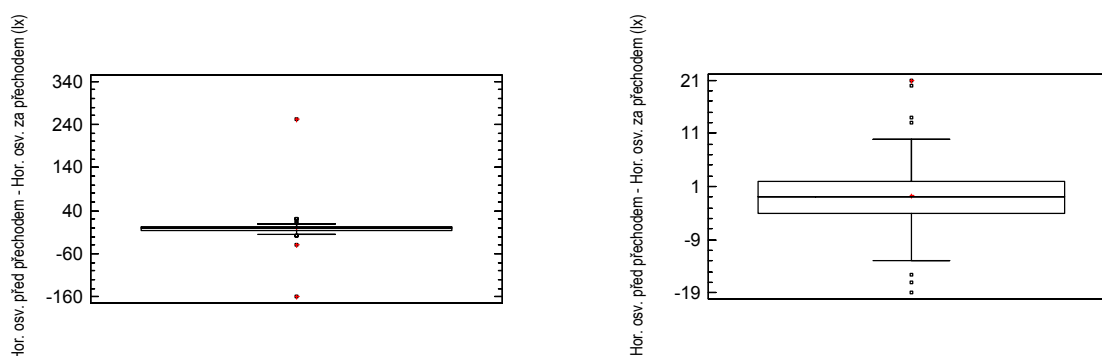
	Horizontální osvětlenost před přechodem / Horizontální osvětlenost za přechodem
Bodový odhad středního poměru	1,0
95% intervalový odhad středního poměru	(0,9; 1,1)
95% limity shody	(0,3; 3,7)
Interval přípustných středních poměrů pro rozsah výběru 84 přechodů	(0,9; 1,1)
Věcná významnost (<i>Cohenovo d</i>)	0,03(velmi slabá)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	0,727
Praktická významnost	Poměr horizontální osvětlenosti před a za přechodem se liší o více než 50% u cca 38% přechodů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná. Hypotézu tedy lze považovat za prokázanou.

b) Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná ve směru A.

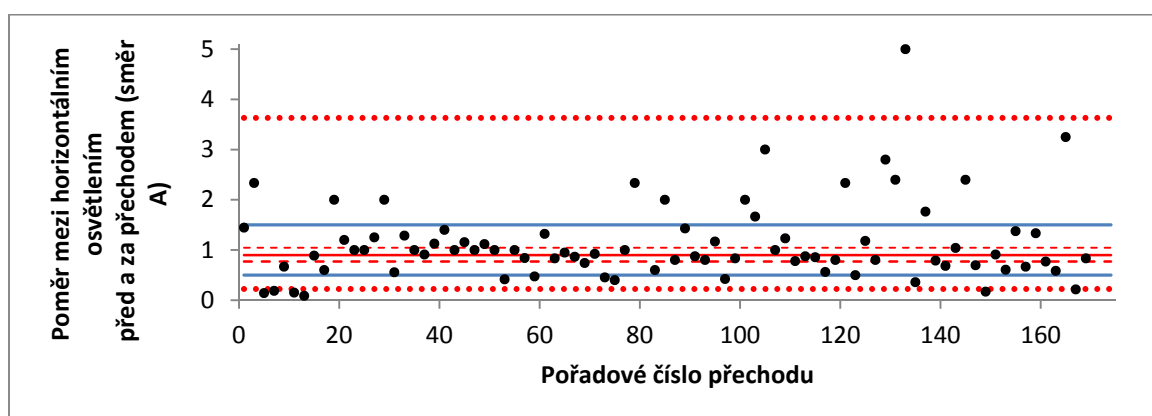
Horizontální osvětlenost před ani za přechodem nelze pro přechody ve směru A modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), proto byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě, následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu.

Z výběrového souboru byly pro tuto analýzu vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 149, 171, 173, které byly identifikovány jako extrémní pozorování a záznamy o přechodu č. 81, u nějž je uvedena nulová hodnota horizontálního osvětlení před přechodem (nelze zpracovat z důvodu logaritmizace dat).



Obr. 60 Grafické znázornění analýzy horizontální osvětlenosti

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako slabá (*Cohenovo* $d = 0,15$). Poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem lze u přechodů ve směru A s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,2; 3,6), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (0,8; 1,0) – viz obr.



Obr. 61 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modré čáry označují meze praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 nelze tvrdit, že se horizontální osvětlenosti před a za přechodem u přechodů ve směru A statisticky významně liší ($x_{OBS} = -1,38$, $p - hodnota = 0,171$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem ($\bar{x}_G = 0,9$) leží v intervalu kritických hodnot (0,8; 1,2). Tzn., že rozdíl mezi horizontální osvětleností před a za přechodem je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se horizontální osvětlenosti před a za přechodem budou lišit o více než 20 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně neliší.

H_A : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně liší.

$$x_{OBS} = -1,38$$

$$p - \text{hodnota} = 0,171$$

Tab. 38 Vypočtené hodnoty

Směr A	Horizontální osvětlenost před přechodem / Horizontální osvětlenost za přechodem
Bodový odhad středního poměru	0,9
95% intervalový odhad středního poměru	(0,8; 1,0)
95% limity shody	(0,2; 3,6)
Interval přípustných středních poměrů pro rozsah výběru 84 přechodů	(0,8; 1,2)
Věcná významnost (<i>Cohenovo d</i>)	0,15(slabá)
Statistická významnost (<i>p – hodnota</i>)	0,171
Praktická významnost	Poměr horizontální osvětlenosti před a za přechodem ve směru A se liší o více než 50 % u cca 33 % přechodů.

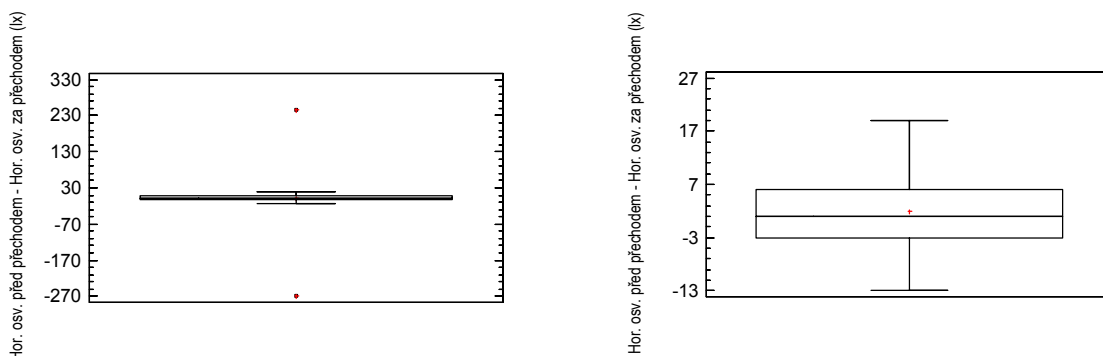
Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že horizontální osvětlenost před a za přechodem je pro přechody ve směru A stejná. Hypotézu tedy lze pro přechody ve směru A považovat za prokázanou.

c) Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná ve směru B.

Horizontální osvětlenost před ani za přechodem nelze pro přechody ve směru B modelovat normálním rozdělením (Shapiro-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), proto byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě, následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu.

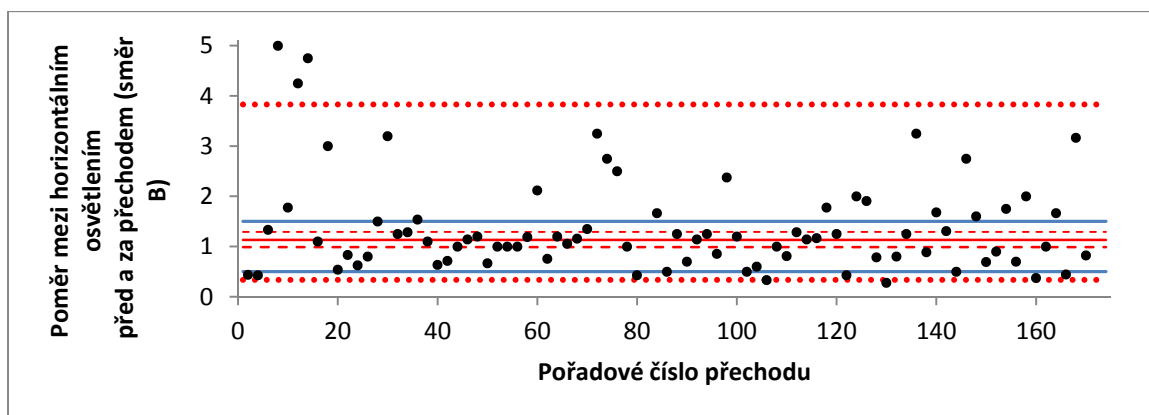
Z výběrového souboru byly pro tuto analýzu vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 172 a 174, které byly identifikovány jako extrémní pozorování, záznamy o přechodu č. 82, u nějž je

uvedena nulová hodnota horizontálního osvětlení za přechodem (nelze zpracovat z důvodu logaritmizace dat).



Obr. 62 Grafické znázornění analýzy horizontální osvětlenosti

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako slabá ($Cohenovo\ d = 0,19$). Poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem lze u přechodů ve směru B s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,3; 3,8), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (1,0; 1,3) – viz obr.



Obr. 63 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modré čáry označují meze praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 nelze tvrdit, že se horizontální osvětlenosti před a za přechodem u přechodů ve směru B statisticky významně liší ($x_{OBS} = 1,80$, $p - hodnota = 0,076$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi horizontální osvětleností před a za přechodem ($\bar{x}_G = 1,13$) leží v intervalu kritických hodnot (0,88; 1,14). Tzn., že rozdíl mezi horizontální osvětleností před a za přechodem je

se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se horizontální osvětlenosti před a za přechodem budou lišit cca o více než 13 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně neliší.

H_A : Horizontální osvětlenost před a za přechodem se statisticky významně liší.

$$x_{OBS} = 1,80$$

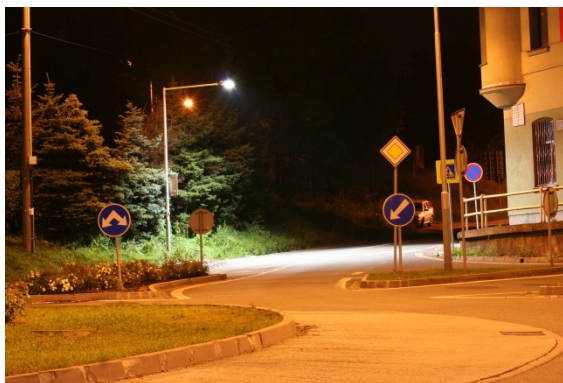
$$p - \text{hodnota} = 0,076$$

Tab. 39 Vypočtené hodnoty

Směr B	Horizontální osvětlenost před přechodem / Horizontální osvětlenost za přechodem
Bodový odhad středního poměru	1,13
95% intervalový odhad středního poměru	(1,0; 1,3)
95% limity shody	(0,3; 3,8)
Interval přípustných středních poměrů pro rozsah výběru 84 přechodů	(0,88; 1,14)
Věcná významnost (Cohenovo d)	0,19(slabá)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	0,076
Praktická významnost	Poměr horizontální osvětlenosti před a za přechodem ve směru B se liší o více než 50% u cca 43% přechodů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že horizontální osvětlenost před a za přechodem je pro přechody ve směru B stejná. Hypotézu tedy lze pro přechody ve směru B považovat za prokázanou.

Na Obr. 64 vidíme přechod pro chodce, který za vyznačeným přechodem nemá vytvořené adaptační pásmo a osvětlenost za tímto přechodem byla 0lx. Proto nebyl při testování hypotézy tento přechod hodnocen z důvodu logaritmizace dat.



Obr. 64 Fotografie přechodu 82

Další přechod, který nebyl hodnocen, je na Obr. 65. Přechod nebyl hodnocen, neboť byl vyhodnocen jako extrémní pozorování. Přechod pro chodce se nachází u autobusového zastřešeného terminálu. Horizontální osvětlenost pod zastřešením je 272 lx a mimo zastřešení je 22 lx.



Obr. 65 Fotografie přechodu 174

Z praktického hlediska si můžeme povšimnout, že velké množství přechodů pro chodce má rozdílnou hladinu osvětlenosti před a za přechodem. Tato osvětlenost udává referenci o adaptačním pásmu před a za přechodem. Nejprve byla hypotéza vztažena na průměr hodnot před a za přechodem a posléze na jednotlivé jízdní směry.

Při posuzování průměrných hodnot před a za přechodem mělo 38 % přechodů rozdílné adaptační pásma před a za přechodem.

Při posuzování adaptačních pásem v jednotlivých jízdních směrech měl směr A u 33 % přechodů rozdílná adaptační pásma a směr B měl u 43 % přechodů rozdílná adaptační pásma.

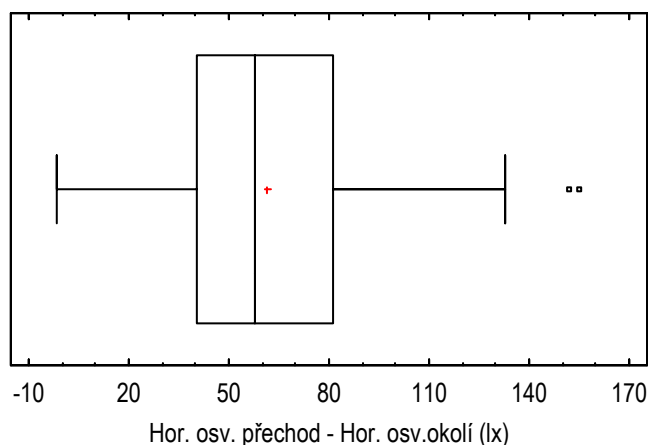
Tento rozdíl poukazuje na shodu s předchozí hypotézou a to, že každý jízdní směr je při návrhu osvětlovací soustavy přisvětlení přechodu pro chodce nutné posuzovat individuálně.

9.5.5 Horizontální osvětlenost přechodu je vyšší než osvětlenost komunikace (kolikrát)

Při ověřování hypotézy „Horizontální osvětlenost před a za přechodem je stejná“ bylo ukázáno, že rozdíl v horizontálním osvětlení komunikace před a za přechodem není na hladině významnosti 0,05 statisticky významný. Proto je horizontální osvětlenost okolní komunikace charakterizována průměrným horizontálním osvětlením před a za přechodem. V následné analýze je pak porovnávána horizontální osvětlenost přechodu a jeho blízkého okolí.

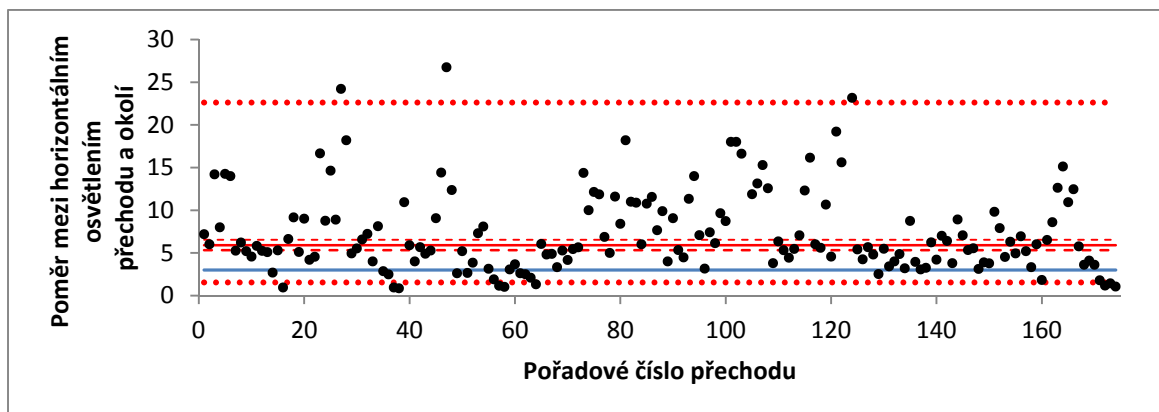
Horizontální osvětlenost přechodu ani okolí nelze modelovat normálním rozdělením (Shapírov-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), proto byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě, následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu.

Z výběrového souboru byly pro tuto analýzu vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 104 a 123, které byly identifikovány jako extrémní pozorování.



Obr. 66 Grafické znázornění analýzy horizontální osvětlenosti

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako velmi silná (*Cohenovo* $d = 2,59$). Poměr mezi horizontální osvětleností přechodů a jejich okolí lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (1,5; 22,6), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (5,3; 6,5) – viz Obr. 67.



Obr. 67 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modrá čára označuje mez praktické významnosti

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že horizontální osvětlenost přechodů je statisticky významně vyšší než horizontální osvětlenost jejich okolí ($x_{OBS} = 33,9$, $p - hodnota < 0,001$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi horizontální osvětleností přechodů a jejich okolí ($\bar{x}_G = 5,9$) překročila kritickou hodnotu 1,1. Tzn., že rozdíl mezi horizontální osvětleností přechodů a jejich okolí je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se horizontální osvětlenosti přechodů a okolí budou lišit v průměru o více než 10 %.

Tab. 40 Vypočtené hodnoty

	Horizontální osvětlenost přechod / Horizontální osvětlenost okolí
Bodový odhad středního poměru	5,9
95% intervalový odhad středního poměru	(5,3; 6,5)
95% limity shody	(1,5; 22,6)
Kritická hodnota středního poměru pro rozsah výběru 172 přechodů	> 1,1
Věcná významnost (Cohenovo d)	2,59(velmi silná)
Statistická významnost ($p - hodnota$)	< 0,001
Praktická významnost	V analyzovaném výběru je u cca 88 % přechodů pozorováno více než trojnásobné horizontální osvětlení přechodu oproti hor. osvětlení jeho okolí.

Statistická hypotéza

H_0 : Horizontální osvětlenost přechodu a jejich okolí se statisticky významně neliší.

H_A : Horizontální osvětlenost přechodu je statisticky významně vyšší než hor. osvětlenost jejich okolí.

$$x_{OBS} = 33,9$$

$$p - \text{hodnota} < 0,001$$

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že horizontální osvětlenost přechodů je vyšší než horizontální osvětlenost jejich okolí. Hypotézu tedy lze považovat za prokázanou.

Testování této hypotézy potvrzuje logický fakt, že při přisvětlení přechodu pro chodce se zvýšila jeho horizontální osvětlenost vůči přilehlým komunikacím.

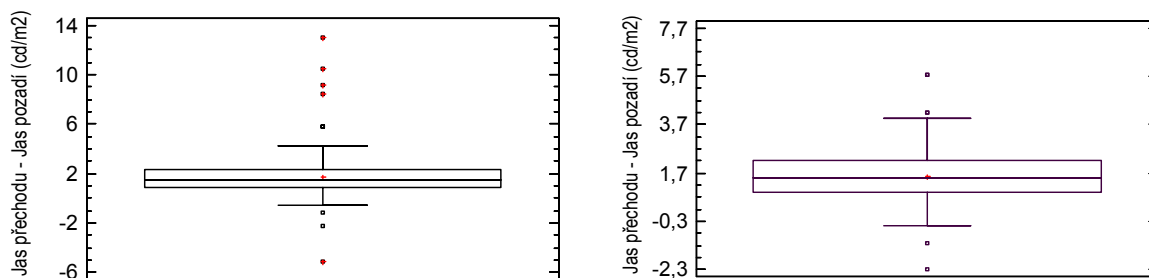


Obr. 68 Fotografie přechodu 150

Jako doplňková úloha byla řešena otázka, kolikrát je horizontální osvětlenost přechodu vyšší než horizontální osvětlenost jeho okolních komunikací. Na základě takto upravených dat bylo odhadnuto, že horizontální osvětlení přechodu je cca 5,9x vyšší než horizontální osvětlení okolí. Tento údaj o středním poměru osvětleností poukazuje, že v průmětu je na měřených přechodech vytvořený dostatečný poměr osvětleností (1:3), který zaručí zvýraznění přechodu na komunikaci.

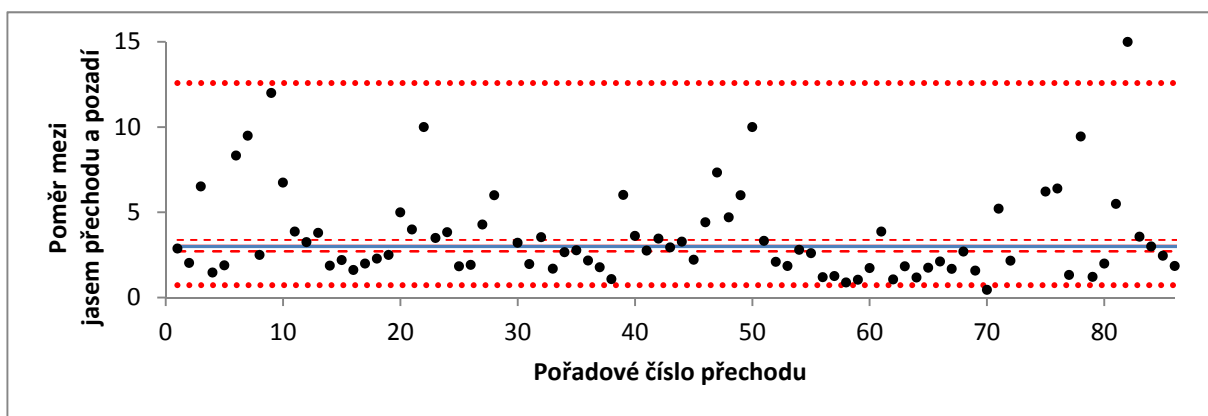
9.5.6 Jas přechodu je vyšší než jas pozadí (kolikrát)

Jas přechodu ani jas pozadí nelze modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), proto byla data nejdříve transformována pomocí logaritmické transformace, což vedlo k přiblížení k normalitě, následně byla hypotéza ověřována pomocí párového t-testu. Z výběrového souboru byly pro tuto analýzu vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 29, 171, 172, 173 a 174, u nichž byly pozorovány extrémní rozdíly jasnem přechodu a pozadí.



Obr. 69 Grafické znázornění analýzy jasu přechodu a jasu pozadí

Věcná významnost pozorovaných rozdílů byla hodnocena jako velmi silná (*Cohenovo* $d = 1,52$). Poměr mezi jasnem přechodů a jasnem pozadí lze s 95% spolehlivostí očekávat v intervalu (0,7; 12,6), střední poměr pak s 95% spolehlivostí očekáváme v intervalu (2,7; 3,8) – viz Obr. 70.



Obr. 70 Tečkované čáry označují 95% limity shody, čárkované čáry 95% interval spolehlivosti pro střední hodnotu, plná čára označuje průměr, modrá čára označuje mez praktické významnosti



Obr. 71 Fotografie přechodu 148

Na základě párového t-testu bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že jas přechodů je statisticky významně vyšší než jas jejich pozadí ($x_{OBS} = 19,8$, $p - hodnota < 0,001$). Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě skutečnosti, že průměrný poměr mezi jasnem přechodů a jejich pozadí ($\bar{x}_G = 3,0$) překročil kritickou hodnotu 1,1. Tzn., že rozdíl mezi jasnem přechodů a jejich pozadí je se spolehlivostí 95 % vyhodnocen jako statisticky významný v případě, pokud se horizontální osvětlenosti přechodů a okolí budou lišit v průměru o více než 10 %.

Statistická hypotéza

H_0 : Jas přechodů a jejich pozadí se statisticky významně neliší.

H_A : Jas přechodů je statisticky významně vyšší než jas jejich pozadí.

$$x_{OBS} = 19,8$$

$$p - hodnota < 0,001$$

Tab. 41 Vypočtené hodnoty

	Jas přechodu / Jas pozadí
Bodový odhad středního poměru	3,0
95% intervalový odhad středního poměru	(2,7; 3,8)
95% limity shody	(0,7; 12,6)
Kritická hodnota středního poměru pro rozsah výběru 172 přechodů	> 1,1
Věcná významnost (Cohenovo d)	1,52 (velmi silná)
Statistická významnost ($p - hodnota$)	< 0,001
Praktická významnost	V analyzovaném výběru je u cca 46% přechodů pozorováno více než trojnásobný jas přechodu oproti jasu pozadí.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze tvrdit, že jas přechodů je vyšší než jas jejich pozadí. Hypotézu tedy lze považovat za prokázanou.

Tato hypotéza potvrdila, že při osvětleném přechodu pro chodce je vytvořen kontrast mezi jasnem pozadí a přechodem.

Jako doplňková úloha byla řešena otázka, kolikrát je jas přechodu vyšší než jas pozadí. Údaje o jasů byly logaritmovány, což vedlo k přiblížení jejich distribuce normálnímu rozdělení. Na základě takto upravených dat bylo odhadnuto, že jas přechodu je cca 3,0x vyšší než jas pozadí.

9.5.7 Čím vyšší je horizontální osvětlenost přechodu, tím vyšší je svislá osvětlenost přechodu

9.5.7.1 Umístění osvětlení 1 (120 přechodů)

Vzhledem k tomu, že horizontální i vertikální osvětlenost přechodu lze v tomto případě modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} = 0,075$ (horizontální osvětlení), $p - \text{hodnota} = 0,917$ (vertikální osvětlení)), byla hypotéza ověřována pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Z výběrového souboru byly při analýze vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 171, 172, 173 a 174, které byly identifikovány jako vlivné body.

V očištěných datech byla pozorována středně silná pozitivní korelace ($r_s = 0,648$), což podporuje ověřovanou hypotézu. Věcná významnost je hodnocena jako střední. Testováním hypotézy o nulovosti korelačního koeficientu vůči alternativě, že korelace je pozitivní, bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že s rostoucí horizontální osvětleností přechodu statisticky významně roste jeho vertikální osvětlenost ($r = 0,648$, $p - \text{hodnota} < 0,001$), hypotézu 3 lze tedy pro umístění přechodu typu 1 považovat za prokázanou.

Tab. 42 Vypočtené hodnoty

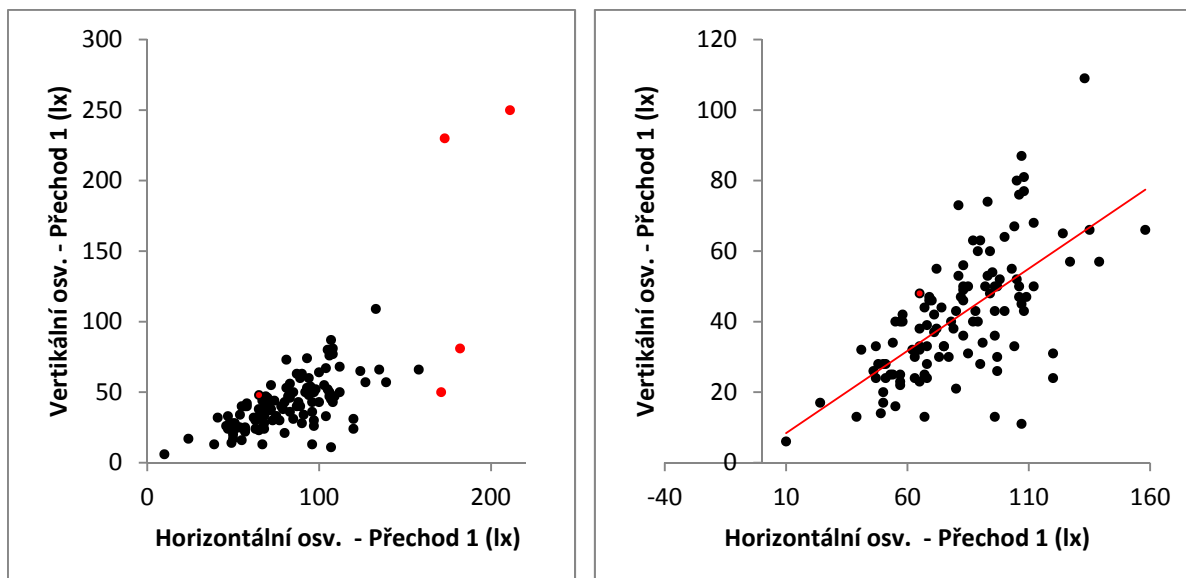
	Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu (umístění 1)
Bodový odhad korelačního koeficientu	0,648
Věcná významnost (Pearsonův korelační koeficient r)	0,648 (střední)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	$< 0,001$

Statistická hypotéza

H_0 : Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu se statisticky významně neliší od nuly.

H_A : Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu je kladná.

$r_s = 0,648$ $p - \text{hodnota} < 0,001$



Obr. 72 Grafické znázornění osvětleností na přechodu

9.5.7.2 Umístění osvětlení 2, 3, 4 (54 přechodů)

Vzhledem k tomu, že horizontální ani vertikální osvětlenost přechodu nelze pro v tomto případě modelovat normálním rozdělením (Shapirův-Wilkův test, $p - \text{hodnota} < 0,001$), byla hypotéza ověřována pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Z výběrového souboru byly při analýze vypuštěny záznamy o přechodech s pořadovým číslem 104 a 140, které byly identifikovány jako vlivné body.

V očištěných datech byla pozorována středně silná pozitivní korelace ($r_s = 0,327$), což podporuje ověřovanou hypotézu. Věcná významnost je hodnocena jako střední. Testováním hypotézy o nulovosti korelačního koeficientu vůči alternativě, že korelace je pozitivní, bylo zjištěno, že na hladině významnosti 0,05 lze tvrdit, že s rostoucí horizontální osvětleností přechodu statisticky významně roste jeho vertikální osvětlenost ($r_s = 0,327$, $p - \text{hodnota} = 0,009$), hypotézu 3 lze tedy pro umístění přechodu typu 2, 3 a 4 považovat za prokázanou. [L18]

Tab. 43 Vypočtené hodnoty

	Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu (umístění 1)
Bodový odhad korelačního koeficientu	0,648
Věcná významnost (Pearsonův korelační koeficient r)	0,648 (střední)
Statistická významnost ($p - \text{hodnota}$)	$< 0,001$

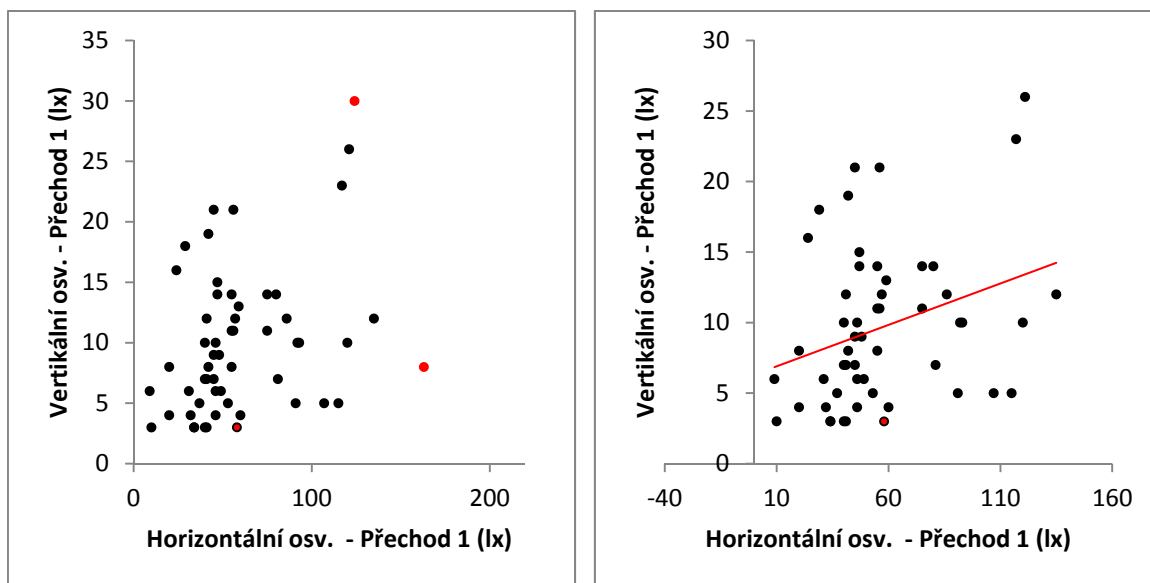
Statistická hypotéza

H_0 : Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu se statisticky významně neliší od nuly.

H_A : Korelace mezi horizontální a vertikální osvětleností přechodu je kladná.

$$r_s = 0,304$$

$$p - \text{hodnota} = 0,014$$



Obr. 73 Grafické znázornění osvětleností na přechodu

10 Energetická náročnost osvětlovací soustavy přechodů pro chodce

Bezpečnost v konfliktních oblastech, jako je například přechod pro chodce, vyžaduje kvalitní světelné podmínky. Pro splnění těchto podmínek jsou často používána svítidla s poměrně vysokými výkony.

V dnešní době, kdy je trh nasycen rozmanitou škálou typů svítidel a světelných zdrojů, si projektanti a správci veřejného osvětlení mohou vybrat svítidlo, které umožní kvalitně osvětlit konfliktní oblast a zároveň snížit energetickou náročnost osvětlovací soustavy.

Tyto dva požadavky jsou bohužel často protichůdné a správná volba vyžaduje analýzu parametrů svítidla i osvětlovaného prostoru.

10.1 Možnosti optických systémů svítidla

Nezákladnějším parametrem svítidla je jeho vyzařovací charakteristika – křivka svítivosti. Na základě této informace je zjištěno, jak bude světelný tok distribuován ze svítidla na osvětlovaný prostor. Jelikož je potřeba v oblasti přechodu pro chodce vytvořit dostatečnou vertikální složku, svítidla jsou nejčastěji umísťována před přechod pro chodce ve směru příjezdějícího vozidla. Při tomto umístění je nejvhodnější použít svítidlo, které má maximum vyzařování světelného toku ve směru jízdy vozidla.

Pro demonstraci možnosti úspory elektrické energie byl vybrán referenční přechod pro chodce, kde byla nainstalována svítidla MACH AS MACH1-250HQIT/SYM/L s nepříliš výraznou asymetrií ve směru příjezdějícího vozidla a THORN Areaflood 150W A/A s upravenou vyzařovací charakteristikou přímo pro přechody pro chodce (asymetrie jak dopředu, tak do boku). Svítidla byla nainstalována ve stejných pozicích.



Obr. 74 Fotografie a jasová analýza přechodu se svítidlem MACH1 [9]

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází na ulici Doktora Malého v Ostravě. Přečhod pro chodce je umístěn před kruhovým objezdem a jednu část tohoto přečhodu tvoří přejezdová část cyklostezky. Přečhod pro chodce osvětluje svítidlo MACH1 ASYM 250W.

Tab. 44 Vyhodnocení [9]

		Zapnuté přečhodové svítidlo			Vypnuté přečhodové svítidlo		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	2,39	0,39	10,87	0,70	0,14	2,18
2	Pozadí	0,52	0,14	2,94	0,53	0,14	2,51
3	Přečhod	2,11	0,42	4,09	0,46	0,26	1,71
Kontrast (-)		3,60			0,32		

Při posouzení první konfliktní oblasti bylo použito svítidlo, které mělo distribuci světelného toku pouze dopřednou. Toto svítidlo po podrobení se analýze bylo demontováno a nahrazeno svítidlem THORN Areaflood A/A 150W.



Obr. 75 Fotografie a jasová analýza přečhodu se svítidlem AreaFlood [9]

Tab. 45 Vyhodnocení [9]

		Zapnuté přečhodové svítidlo			Vypnuté přečhodové svítidlo		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	2,51	0,06	11,57	0,52	0,03	7,96
2	Pozadí	0,49	0,02	6,12	0,45	0,01	7,20
3	Přečhod	2,24	0,16	6,23	0,63	0,12	1,39
Kontrast (-)		4,12			0,15		

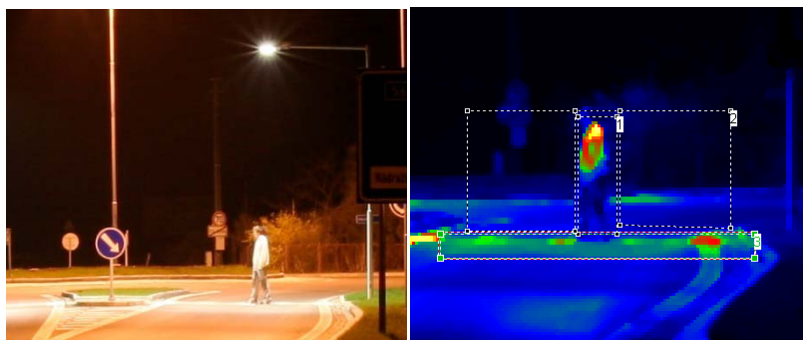
Při použití světloometu je vhodné použít optiku s boční asymetrií. Při použití svítidla s nižším příkonem, ale s asymetrickou boční optikou jsme zachovali stejné světelné parametry jako u svítidla původního (výkonnějšího).

10.2 Světelné zdroje používané pro osvětlování přechodů pro chodce

Při volbě světelného zdroje klademe důraz na výkon, tedy světelný tok tak, aby byly kvantitativní hodnoty dostačující. Z kvalitativního hlediska upřednostňujeme teplotu chromatičnosti, neboť by měla být o mnoho vyšší než teplota chromatičnosti světelných zdrojů v okolních svítidlech. Pro ukázkou jsou popsány tři typy světelných zdrojů. Nejrozšířenější je halogenidová vysokotlaká výbojka. Nejnovějším typem světelného zdroje ve svítidlech pro osvětlování přechodů pro chodce je LED světelný zdroj. A občas se můžeme setkat i s indukční výbojkou.

10.2.1 Halogenidová vysokotlaká výbojka

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází v obci Čeladná v okrese Frýdek – Místek. Kruhový objezd je na okraji obce v blízkosti kostela a železniční stanice. Kruhový objezd tvoří pouze jeden jízdní pruh. Osvětlovací soustava přechodu pro chodce je tvořena uličními svítidly THORN Civic 150W umístěnými vždy vpravo v každém jízdním pruhu.



Obr. 76 Fotografie a jasová analýza přechodu se svítidlem halogenidová výbojka

Tab. 46 Vyhodnocení halogenidová výbojka [9]

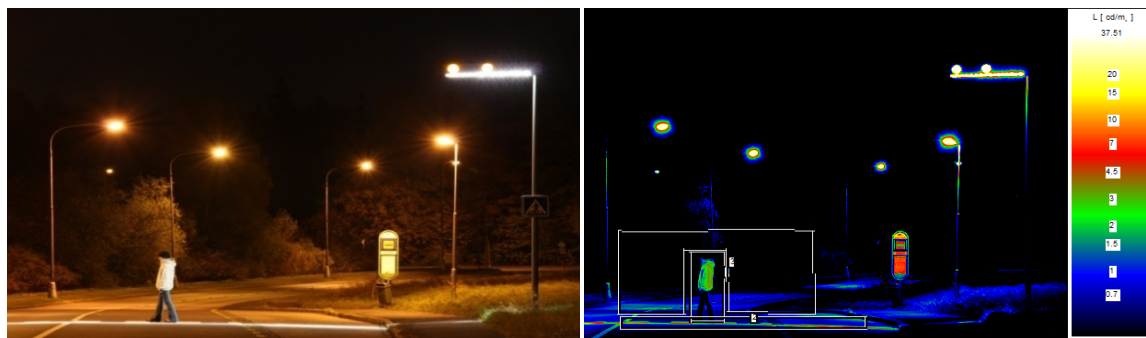
		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	2,87	0,52	12,10	1,16	0,29	4,85
2	Pozadí	1,22	0,15	4,70	1,09	0,08	5,45
3	Přechod	3,93	1,66	8,16	1,26	0,31	2,74
Kontrast (-)		1,35			0,06		

U tohoto přechodu pro chodce je použití svítidla nezbytné, neboť při vypnutém svítidle je jas chodce a pozadí téměř totožné. Hodnota kontrastu se pohybuje okolo nuly, což upozorňuje na nevyhovující světelné podmínky. Při zapnutí svítidla dochází k nárůstu jasu na více jak dvojnásobek. Při použití svítidla s vysokotlakou halogenidovou výbojkou dojde ke zlepšení vizuálních podmínek.

Jasová analýza byla provedena s figurantem, který byl oblečen v horní části do světlého oděvu s vysokou odrazností a ve spodní části do tmavých kalhot s nízkou odrazností. Měřený figurant se nacházel ve středu přechodu (v obou osách).

10.2.2 Světelné diody LED

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází ve městě Havířov na ulici Okružní. Přechod pro chodce se nachází v nezastavěné části města u zastávky autobusu. Osvětlovací soustava přechodu pro chodce je tvořena uličním svítidlem Guzzini ZETAC, 45 x 1,2W umístěným pouze v jednom jízdním pruhu.



Obr. 77 Fotografie a jasová analýza přechodu se svítidlem LED [9]

Tab. 47 Vyhodnocení LED [9]

		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
1	Chodec	0,78	0,05	4,35	0,37	0,02	2,35
2	Přechod	1,25	0,05	9,96	0,60	0,04	2,13
3	Pozadí	0,28	0,04	2,36	0,28	0,03	2,34
Kontrast (-)		1,79			0,31		

Přídavná osvětlovací soustava neovlivňuje jas pozadí z pohledu přijíždějícího řidiče. Tento jas se pohybuje v oblasti okolo 0,28 cd/m².

V rámci situace bez zapnutého přisvětlení přechodu je naměřený průměrný jas figuranta a vozovky v okolí přechodu téměř identický a pohybuje se v oblasti okolo jasu $0,45 \text{ cd/m}^2$.

V rámci situace bez zapnutého přisvětlení přechodu je naměřený kontrast figuranta vůči pozadí 0,3, to znamená, že figurant a pozadí nevykazují kontrast, figurant splývá s pozadím.

V rámci situace se zapnutým přisvětlením přechodu je naměřený kontrast figuranta vůči pozadí vyšší. Hodnota pozitivního kontrastu 1,7 je na hranici rozeznatelnosti lidského oka. Přídavné svítidlo ke zlepšení kontrastu přispívá velice málo. Ten by měl mít hodnotu alespoň 3.

10.2.3 Indukční výbojka

Posuzovaná konfliktní oblast se nachází ve městě Havířov na ulici U Nádraží. Přechod pro chodce se nachází v části s bytovými domy a v blízkosti supermarketu. Osvětlovací soustava přechodu pro chodce je tvořena světlometným svítidlem LVD 0553-3 120W. Svítidlo je umístěno nad přední částí přechodu pro chodce. Mezi jednotlivými jízdními pruhy je bezpečnostní ostrůvek.



Obr. 78 Fotografie a jasová analýza přechodu se svítidlem LED [9]

Tab. 48 Vyhodnocení indukční výbojka [9]

		Zapnuté přechodové svítidlo			Vypnuté přechodové svítidlo		
		L	L _{min}	L _{max}	L	L _{min}	L _{max}
		(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)
1	Chodec	2,31	0,06	19,61	0,80	0,06	4,59
2	Přechod	1,62	0,21	7,87	0,85	0,13	2,99
3	Pozadí	0,29	0,06	8,85	0,28	0,06	10,12
Kontrast (-)		7,09			1,88		

Jasová analýza byla provedena s figurantem, který byl oblečen v horní části do světlého oděvu s vysokou odrazností a ve spodní části do tmavých kalhot s nízkou odrazností. Měřený figurant se nacházel ve středu přechodu (v obou osách).

Přídavná osvětlovací soustava neovlivňuje jas pozadí z pohledu přijíždějícího řidiče. Tento jas se pohybuje v oblasti okolo $0,28 \text{ cd/m}^2$.

V rámci situace bez zapnutého přisvětlení přechodu je naměřený průměrný jas figuranta a vozovky v okolí přechodu téměř identický a pohybuje se v oblasti okolo jasu $0,8 \text{ cd/m}^2$.

V rámci situace bez zapnutého přisvětlení přechodu je naměřený kontrast figuranta vůči pozadí 1,8, to znamená, že figurant je viditelný v pozitivním kontrastu na hranici rozpoznatelnosti vůči pozadí.

V rámci situace se zapnutým přisvětlením přechodu, je naměřený kontrast figuranta vůči pozadí výrazně vyšší. Hodnota pozitivního kontrastu 7 je dobrá, nicméně je nutné si uvědomit, že figurant stojí v střední části přechodu. Kdyby se figurant nacházel na začátku přechodu, tak by naměřený kontrast odpovídal původním hodnotám kontrastu bez přídavného osvětlení.

10.2.4 Srovnání příkonů a parametrů osvětlení při zapnutém svítidle

Tab. 49 Porovnávací tabulka [9]

Světelný zdroj	Příkon (W)	Průměrný jas chodce (cd/m^2)	Kontrast (-)
Halogenidová výbojka	170	2,87	1,53
LED	57	0,78	1,79
Indukční výbojka	120	2,31	7,09

10.3 Vyhodnocení měření

Výběr vhodného svítidla a světelného zdroje musí být důkladně promyšlen. Z naměřených dat lze konstatovat, že výrazná úspora vznikla při použití kvalitnější optické části svítidla.

U svítidel s různými světelnými zdroji poskytne nejkvalitnější světelné podmínky svítidlo s halogenidovou výbojkou. Světelný tok je distribuován rovnoměrně na celý přechod. U svítidla s indukční výbojkou došlo sice k nejvyššímu nárůstu jasu figuranta, ale bohužel maximální hodnoty jsou dosaženy pouze uprostřed přechodu pro chodce. V případě, kdy chodec přechází přechod v přední části, jsou příspěvky minimální. Svítidlo s LED světelnými zdroji má velice úzkou vyzařovací

charakteristiku. Osvětlena je pouze středová osa přechodu. U tohoto svítidla byly naměřeny nedostačující světelné parametry pro kvalitní osvětlení přechodu.

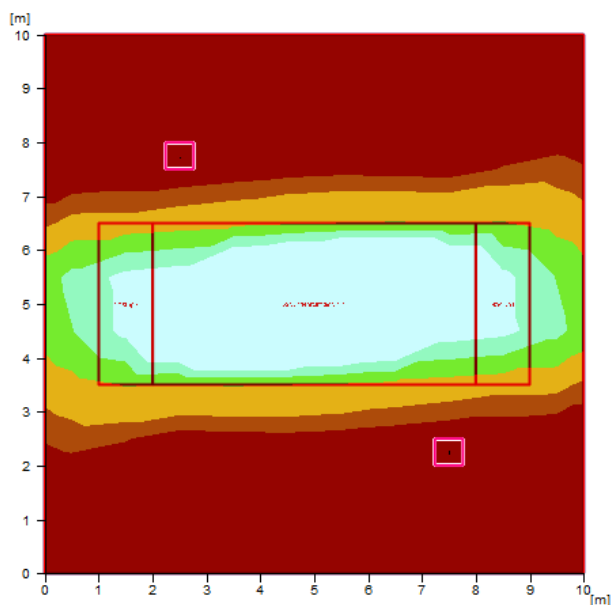
Možné alternativy k halogenidové vysokotlaké výbojce mají nižší příkon, ale požadavky na osvětlení jsou nedostačující. [9], [L1],[L4],[L6],[L7],[L13],[L15],[L19] ,[L20].

10.4 Technický vývoj LED svítidel pro osvětlování přechodů pro chodce

S postupným příchodem LED technologie do veřejného osvětlení se výrobci svítidel zaměřili i na svítidla pro osvětlování přechodů pro chodce. I když se tento typ svítidel na českém i zahraničním trhu objevuje jen krátkou dobu v časovém úseku několika let, mají LED svítidla za sebou již poměrně velký technický pokrok. Velký posun je zejména v optických systémech svítidel, které u tohoto typu osvětlení hrají velkou roli. Další pokroky zaznamenala technologie LED čipů a elektronických napájecích zdrojů.

10.4.1 Optické systémy

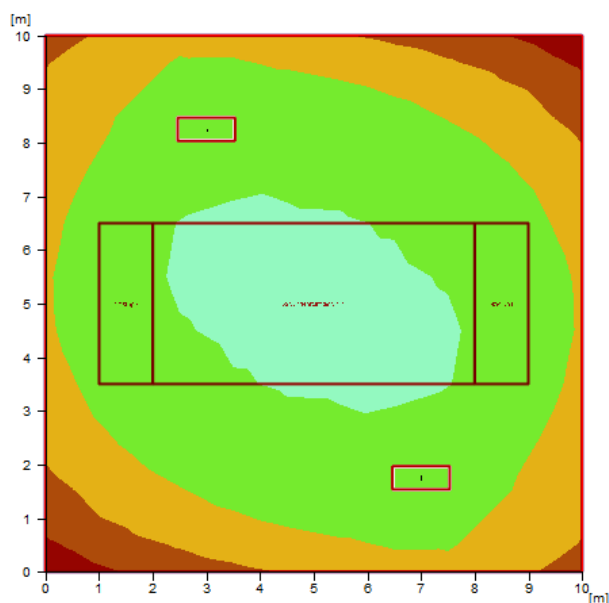
Při osvětlování přechodu pro chodce je důležité, aby byl rovnoměrně osvětlen přechod a také okolí přechodu pro chodce. První optické systémy, které jsou tvořeny plastikovými čočkami, měly velice úzkou charakteristiku vyzařování. Plocha přechodu byla intenzivně osvětlena v ose, ale okraje a okolí přechodu byly osvětleny výrazně méně.



Obr. 79 Ukázka úzké vyzařovací charakteristiky přechodového svítidla

Díky tomuto působily osvětlené přechody na řidiče v jeho směru pohledu jako úzké světelné linie přes komunikaci, které poskytovaly jen informaci o výskytu osvětlené plochy přechodu. Svislá osvětlenost v prostoru přechodu pro chodce byla dostačující jen v jeho ose přecházení. Pokud se přecházející chodec pohyboval mimo osu přechodu, výrazně se snížila jeho rozeznatelnost v důsledku nižších hodnot svislé osvětlenosti mimo osu přechodu.

V dnešní době je preferována výrobci svítidel především širší charakteristika svítidel, která rovnoměrně osvětlí prostor přechodu a jeho okolí. Chodec je tak pro řidiče rozeznatelný na celé šířce přechodu. Takto osvětlený přechod netvoří jen úzký pruh světla na vozovce, ale díky větší šířce tvoří nepřehlédnutelný osvětlený úsek, který je rozeznatelný již z větších vzdáleností.



Obr. 80 Ukázka široké vyzařovací charakteristiky přechodového svítidla

10.4.2 Barevný tón světla

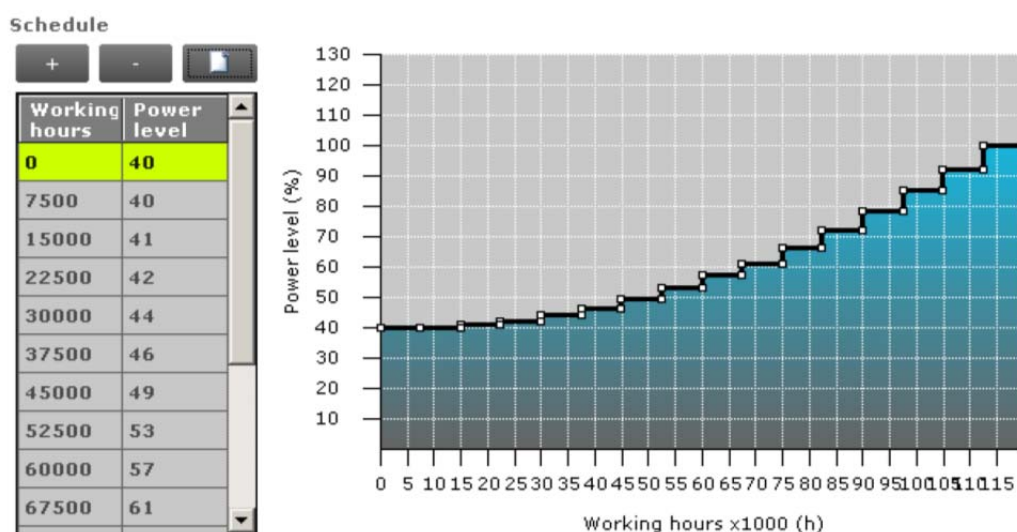
Náhradní teplota chromatičnosti je u LED svítidel pro osvětlování přechodu pro chodce preferována výrobci v těchto řadách: 2700K, 3000K, 4000K a 6500K. Díky této škále lze vytvořit na osvětlené komunikaci i barevný kontrast přechodu vůči vozovce.

10.4.3 Napájecí zdroje

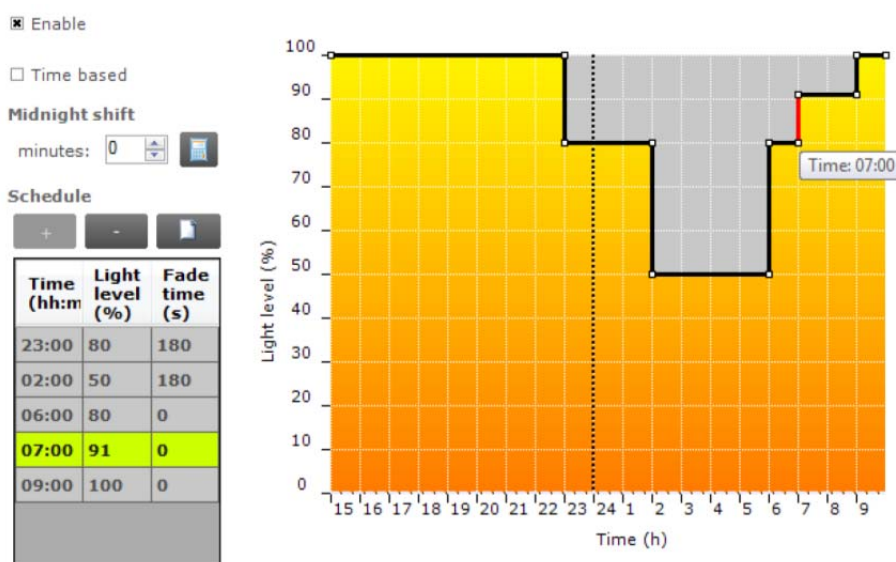
Nynější napájecí zdroje nám nabízejí rozmanitost napájení, řízení a kontroly svítidel. Na začátku používání LED svítidel ve veřejném osvětlení byly používány pouze napájecí zdroje, které zajišťovaly požadované parametry pro správnou činnost napájených LED čipů. Dnešní elektronické napájecí

zdroje jsou již programovatelné a umožňují individuální nastavení, monitoring a záznam vstupních i výstupních parametrů.

LED svítidla renomovaných výrobců mají výrazně delší životnost a stálejší světelný výstup. Pokud je použito programovatelnosti napájecího zdroje, lze zajistit stálý světelný výstup. Pokud se napájecí zdroj naprogramuje tak, že ze začátku provozu, kdy LED čipy vydávají maximum světelného toku, bude provozován v setmělém režimu a postupně budou LED čipy přibuzovány v závislosti na úbytku světelného toku s časem, dosáhne se toho, že svítidlo bude vydávat stálý světelný tok.



Obr. 81 Ukázka softwarového rozhraní pro programování stálého světelného výstupu [30]



Obr. 82 Ukázka softwarového rozhraní pro programování proměnného světelného výstupu v čase [30]

Jelikož je provoz na komunikacích proměnný a nejnižší intenzita provozu je před půlnocí a brzkých ranních hodinách, lze napájecí zdroj naprogramovat, aby v době, kdy je nižší provoz na komunikaci, snížil svůj výkon. Při použití tohoto programování osvětlení přechodů pro chodce je důležité, aby tento systém byl použit i v okolních svítidlech pro osvětlení komunikace, neboť je důležité, aby byly zachovány jasové poměry na komunikaci a přechodu.

Díky jednoduchosti spínání a vypínání LED svítidel je možné využívat osvětlení přechodu jen v čase, kdy je osvětlení opravdu nezbytné. Například použitím pohybového čidla či radaru lze detekovat přítomnost chodců či přijíždějících vozidel. Svítidla při nevyužívání přechodu mohou být vypnuta nebo setmělá například na 30 %, aby již z dálky poutala pozornost účastníků provozu především kontrastem barevného tónu světla. Pokud budou svítidla osvětlovat přechod jen v době, kdy je to nutné, sníží se výrazně spotřeba elektrické energie.



Obr. 83 Svítidlo se senzorem pohybu [31]

Další výhodou stmívání přechodových svítidel je, že lze velice citlivě nastavit úroveň svislé osvětlenosti na přechodu pro chodce, tím zlepšit jasové poměry v prostoru přechodu hlavně vůči jasů pozadí přechodu. [L2],[L3],[L9],[L10],[L11],[L14],[L21].

11 Závěr

Práce přináší komplexní pohled na problematiku osvětlování konfliktních míst, především přechodů pro chodce. Přechod pro chodce je definován jako místo střetu dopravní cesty motorových vozidel a pěších účastníků provozu. Při možné srážce těchto dvou rozdílných účastníků provozu je nejzranitelnější chodec, v mnohých případech s tragickými následky.

Konfliktní místo přechodu pro chodce je v této práci analyzováno a popsáno jak z pohledu dopravní nehodovosti, tak z pohledu světelně technických vlastností.

Osvětlovací soustava přechodu pro chodce musí být navržena tak, aby byl příjíždějící řidič včas informován o možnosti výskytu chodce na či v blízkosti přechodu a nedošlo tak k dopravní nehodě. Aby byla lépe pochopena situace při kritických situacích, byl proveden výzkum dopravních nehod s účastí chodce v okrese Ostrava. Jako zdroj informací k analýze dopravních nehod byla použita databáze z policejních protokolů o dopravních nehodách, která byla poskytnuta Ředitelstvím služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky. Z tohoto výzkumu vyplynulo, při jakých okolnostech dochází k dopravním nehodám s účastí chodce. Alarmujícím zjištěním bylo, že průměrně při dopravních nehodách za sledované období zemřelo 17 osob za rok. Z toho sedm obětí byli chodci. Z uvedeného vyplývá, že 41 % tragických dopravních nehod na území okresu Ostrava bylo s účastí chodce. Další zjištění poukazuje na skutečnost, že průměrně 51,3 % dopravních nehod se stalo, pokud chtěl chodec přejít vozovku po přechodu, v okolí přechodu nebo mimo přechod. 24,3 % dopravních nehod v nočních hodinách se stalo přímo na přechodu pro chodce. Také z těchto důvodů se autor věnuje především problematice osvětlování přechodů pro chodce.

V nočních hodinách bývá chodec často neosvětlen. I když se chodec pohybuje v osvětleném prostoru, záleží především na odraznosti jeho oděvu a doplňků, jak rychle bude řidičem rozeznán. Další kapitola je věnována experimentu měření poměrné odraznosti oděvu náhodných chodců, které bylo provedeno pod záštitou oddělení Ministerstva dopravy – BESIP. Měření bylo provedeno v zimě, kdy je statisticky dokázáno, že dochází k častým dopravním nehodám s chodci. Výsledky ukázaly, že poměrná odraznost analyzovaných chodců je velice nízká (6,6 %). Proto je důležité, aby chodci sami dbali na svou vlastní bezpečnost a odívali se do světlejších materiálů nejlépe s reflexními prvky.

V následující kapitole jsou popsány základní požadavky na osvětlování přechodu pro chodce, které vycházejí z platné legislativy ČR a závazných doporučení Ministerstva dopravy. Tyto požadavky jsou doplněny doporučeními ze zahraničních zdrojů.

Popsaná metodika byla ověřována na reálných případech ve spolupráci s Nadací ČEZ. Tento projekt se týkal 35 nebezpečných přechodů v ČR. Pro každý vybraný přechod byla vypracována projektová dokumentace, na které se autor podílel především v části světelně technických řešení. Z následných realizací vzniklo mnoho podnětů, které přispěly k příkladnosti práce z praktického pohledu. V této části jsou popsána doporučení světelně-technického i stavebně-konstrukčního charakteru.

Autor provedl rozsáhlý výzkum na 87 osvětlených přechodech pro chodce. Z tohoto výzkumu vzniklo 174 samostatných objektů, neboť všechny z přechodů byly analyzovány z každého jízdního směru. Díky této rozsáhlé analýze osvětlených přechodů pro chodce v okrese Ostrava z pohledu jasových poměrů bylo možné posoudit bezpečnost osvětlení přechodů z pohledu jasového kontrastu mezi referenčním chodcem s proměnnou odrazností oděvu a jasnem pozadí přechodu. Bylo zjištěno, že i při vysoké odraznosti oděvu chodce tj. $>50\%$, splní poměr jasu pozadí vůči jasu chodce 1:3 pouze 72 % analyzovaných přechodů. Pokud by byla předpokládaná odraznost pouze 6,6 %, jak zjištěno na ověřovacím experimentu, byl by splněn poměr jasu pozadí vůči jasu chodce 1:3 pouze u 3 % přechodů.

V části, která se týká stanovení jasu pozadí přechodu pro chodce, je popsáno, jak se jas pozadí mění v závislosti na horizontální osvětlenosti vozovky, na které je přechod pro chodce umístěn. Z naměřených dat bylo zjištěno, že pro osvětlenost do 20lx na komunikaci je jas pozadí v rozmezí 0,5-1,0 cd/m². Pro osvětlenost komunikace $> 20\text{lx}$ je jas pozadí v rozmezí 0,9-2,4 cd/m². V několika případech bylo zjištěno, že jas pozadí neodpovídá předpokladům. Z tohoto důvodu je nutné při návrzích osvětlení přechodu pro chodce posoudit možnost výrazně nižšího, případně vyššího, jasu pozadí.

Rostoucí jas pozadí v závislosti na osvětlenosti komunikace je základní předpoklad při stanovování požadavků pro osvětlení přechodu pro chodce. Další předpoklady jako např.: jas pozadí přechodu je vyšší než jas pozadí nástupních míst, jas pozadí je v obou směrech stejný, horizontální osvětlenost komunikace je v obou jízdních směrech stejná, byly podrobeny statistické analýze a výsledky podpořily navrhovanou metodiku. I u těchto předpokladů byly analyzovány výjimky. Je proto důležité řešit každý z přechodů pro chodce v jednotlivém jízdním směru individuálně.

Jelikož je osvětlovací soustava přechodu pro chodce poměrně energeticky náročná, byla popsána doporučení o energetické úspornosti osvětlovacích soustav přechodů pro chodce. Z těchto doporučení plyne tendence k využívání LED technologie, která nabízí mnoho výhod oproti dnes nejrozšířeněji používaným halogenidovým výbojkám.

11.1 Přínos práce

Největším přínosem této disertační práce je kvantifikace světelných parametrů na a v okolí osvětleného přechodu pro chodce v městském prostředí. Všechny dostupné metodiky osvětlování jsou založeny na teoretickém popisu osvětlovaného prostoru. Práce jednotlivé teoretické předpoklady testovala díky databázi světelně technických parametrů, které byly autorem naměřeny a vypočteny na reálných případech. Díky velkému množství datových vzorků jsou výsledky objektivní. Tato databáze má velkou míru statistické významnosti. Všechny základní předpoklady byly statisticky ověřeny testováním hypotéz a výsledky přinesly jednotlivé závěry jak statistické, tak praktické významnosti.

Nejspekulativnějším parametrem byl jas pozadí, který ovlivňuje jasové poměry v zorném poli řidiče. Díky této práci byly jasové poměry ověřeny na reálných případech.

Analýza dopravní nehodovosti přinesla pohled na předpoklady, které vedou k dopravní nehodě s chodcem. Díky analýze dopravních nehod z několika úhlů pohledu bylo možné lépe pochopit průběh dopravní nehody a popsat tak následná doporučení k zamezení možnosti udání se nehody.

Posouzení poměrné odraznosti oděvů chodců na referenčním vzorku ukázalo, že velké množství chodců nedbá na svou viditelnost v nočních hodinách. Díky spolupráci s oddělením BESIP je toto zjištění i mediálně zveřejňováno.

Závěry této práce jsou přínosné a jsou využívány pro revizi doporučení *Ministerstva dopravy: Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15, Osvětlování pozemních komunikací, Dodatek č. 1 – Přisvětlování přechodů z roku 2006*.

11.2 Doporučení pro další postup ve výzkumu a praxi

Ověřování světelně technických parametrů na a v okolí přechodu pro chodce bylo provedeno pro okres Ostrava. Větší část přechodů se nalézala v intravilánu města. Předpokládá se, že intravilán malých obcí bude mít nižší jas pozadí z důvodu menší zástavby. Tento prostor proto nabízí velký potenciál pro následný výzkum a byl by velice přínosný pro popsanou metodiku.

Rozsáhlé možnosti pro vývoj osvětlovacích soustav přechodů pro chodce přináší LED technologie. Díky možnostem rychlého spínání a stmívání je možné osvětlovací soustavu regulovat pomocí senzorů v závislosti na intenzitě dopravy či výskytu chodců. Napájecí zdroje pro LED nabízejí možnost nastavení výkonu elektrického i světelného. Tato schopnost umožňuje nastavit individuálně světelné parametry na osvětlovaném přechodu pro chodce např. v závislosti na jasu pozadí.

12 Seznam použité literatury

- [1] Technical report CIE 115:2010, Lighting of roads for motor and pedestrian traffic, 2nd edition, ISBN 978-3-901906-86-2.
- [2] ČSN CEN/TR 13201-1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení, Česká technická norma, duben 2007.
- [3] ČSN EN 13201-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, Česká technická norma, květen 2005.
- [4] ČSN EN 13201-3 Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet, Česká technická norma, květen 2005.
- [5] ČSN 73 6110 - Projektování místních komunikací, Česká technická norma, leden 2006.
- [6] SOKANSKÝ, K.. -NOVÁK, T. -BÁLSKÝ, M. -BLÁHA, Z. -CARBOL, Z. -DIVIŠ, D. -SOCHA, B. -ŠNOBL, J. -ZÁVADA, P. Světelná technika. ČVUT, Praha, 2011. 256 p, ISBN 978-80-01-04941-9 .
- [7] HALONEN, L., PUOLAKKA, M. CIE system for mesopic photometry, CIE introductory tutorial & workshop on mesopic photometry, p. 35 Vienna 2012.
- [8] BLÁHA, Z. Řešení VO v konfliktních oblastech. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXIX, Ostrava, 2012, ISBN 978-80-248-2832-9.
- [9] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Safety and power savings in conflict areas which are illuminated by public lighting. 14th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2013. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. strany 709-712, ISBN 978-80-248-2988-3 .
- [10] PLCH, J. Reakční doba řidiče. In sborník Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení - Podzimní setkání Jablonec nad Nisou 4. – 5. listopadu 2010.
- [11] HABEL, J. Základy světelné techniky. SVĚTLO, listopad 2008, roč. 11, č 6. ISSN 1212-0812.
- [12] Český statistický úřad [online].
Dostupné z URL <http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/doprava_a_spoje>.
- [13] BESIP [ONLINE].
Dostupné z URL <<http://www.ibesip.cz/cz/statistiky/statistiky-nehodovosti-v-ceske-republice/dopravni-nehodovost-v-roce-2012/chodci>>.
- [14] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15, Osvětlování pozemních komunikací, Dodatek č. 1 – Přisvětlování přechodů. Revize TKP z roku 2006. Ministerstvo dopravy, obor infrastruktury.



- [15] LITSCHMANNOVÁ, M.: Úvod do statistiky, Ostrava 2011 VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [16] BRIŠ R., LITSCHMANNOVÁ M. Statistika I. pro kombinované a distanční studium [online]. c2004., Dostupné z URL <www.am.vsb.cz/litschmannova>.
- [17] ČSN EN12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory, Česká technická norma, červenec 2007.
- [18] Geografický informační systém Jednotná dopravní vektorová mapa [online]. Dostupné z URL <<http://www.jdvm.cz/cz/s477/Rozcestnik/c7315-Statistika-nehod-v-mape>>.
- [19] Observační bezpečnosti silničního provozu [online]. Dostupné z URL <<http://www.czrso.cz/clanky/dopravne-inzenyrska-data-v-ceskem-prostredi-analyza-dostupnosti-rozsahu-a-pouzitelnosti/>>.
- [20] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - Část 1 Základní požadavky, Česká technická norma, červen 2007.
- [21] Metra Blansko [online]. Dostupné z URL <<http://metrablansko.cz/cs/luxmetry/pu-550-luxmetr-s-cislicovou-indikaci.html>>.
- [22] EXIMUS cs, s.r.o. [online]. Dostupné z URL <<http://www.eximus.cz/pictures/PU550.jpg>>.
- [23] Konica Minolta [online]. Dostupné z URL <<http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/light-display-measurement/luminance-meters/ls-100-ls-110/introduction.html>>.
- [24] TechnoTeamBildverarbeitung GmbH [online]. Dostupné z <http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/index_eng.html>.
- [25] HABEL, J. -DVOŘÁČEK, K. -DVOŘÁČEK, V. -ŽÁK, P., Světlo a osvětlování, FCC PUBLIC, Praha, 2013, 624 p, ISBN 978-80-86534-21-3.
- [26] ČSN EN 13201-2/Z1 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, Česká technická norma, březen 2007.
- [27] ČEZ regiony [online]. Dostupné z URL <<http://www.cezregiony.cz/>>.
- [28] BLÁHA, Z.: Zkušenosti z návrhů osvětlení přechodů pro chodce pro ČEZ. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXX, Ostrava, 2013, ISBN 978-80-248-3173-2.
- [29] MAIXNER, T. Osvětlení přechodů pro chodce. SVĚTLO, leden 2012 roč. 15. č.1. ISSN 1212-0812.
- [30] Philips MultiOne [online].



Dostupné z URL

<http://www.lighting.philips.com/main/products/controls/assets/UserManual-version-MultiOne-eng-SW-version-2_6_3.pdf>.

- [31] THORN Lighting R2L2 [online].

Dostupné z URL <<http://www.thornlighting.com/en/products/outdoor-lighting/road-lighting/R2L2/r2l2-s-configured-products>>.

- [32] DIN 67523-1 Beleuchtung von Fußgängerüberwegen (Zeichen 293 StVO) mit Zusatzbeleuchtung - Teil 1: Allgemeine Gütemerkmale und Richtwerte, Německá norma, červen 2010.

13 Seznam vlastních projektů a publikací

13.1 Řešené projekty

HS410209 - Zpracování podkladů pro zatřídění komunikací. Měření a vyhodnocení osvětlení komunikací v konfliktních oblastech –

HS 451906 - Naplnění datového pasportu a stanovení kvalitativních, kvantitativních a ekonomických ukazatelů správy provozu veřejného osvětlení v Ostravě v letech 2010-2015.,

HS 451705 - Měření a posouzení světelně-technických, konstrukčních a ekonomických parametrů svítidel,

SP2014/77Možnosti využití LED technologií v průmyslových aplikacích

13.2 Seznam publikací

13.2.1 Seznam publikací vztahujících se k disertační práci

13.2.1.1 Publikace indexované na WoS a SCOPUS

Příspěvky na konferencích:

- [L1] SOKANSKÝ, K.. -BLÁHA, Z. -NOVÁK, T. Assessment of parameters of lights for public lighting. In 10th International Scientific Conference Electric Power Engineering, VŠB-TU Ostrava, 2009, strany 194-196, ISBN 978-80-248-1947-1.
- [L2] SOKANSKÝ, K. -BLÁHA, Z. -NOVÁK, T. Application of intelligent systems for control and management of public lighting. In 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011, VŠB-TU Ostrava, 2011, strany 535-538, ISBN 978-80-248-2393-5.
- [L3] SOKANSKÝ, K. -BLÁHA, Z. -NOVÁK, T. Save energy in road lighting with LED luminaires. In 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012. Vol. 1 a Vol. 2, Vysoké učení technické v Brně, 2012, strany 1189-1191,ISBN 978-80-214-4514-7.
- [L4] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Safety and power savings in conflict areas which are illuminated by public lighting. In 14th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2013, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, strany 709-712, ISBN 978-80-248-2988-3.

- [L5] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Solution of lighting for pedestrian crossing to increase their visibility. EPE 2014 : Electric Power Engineering 2014 : 15th International Scientific Conference : Brno, May 12th to May 14th, 2014, IEEE, 2014, strany 637, ISBN 978-1-4799-3806-3.

Příspěvek v časopise:

- [L6] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Conflict areas on the roads which are illuminated by public lighting. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, listopad 2013, roč. 89, č. 11, s. 31-34. ISSN 0033-2097. SJR 0,231.

13.2.1.2 Publikace v recenzovaném tuzemském časopise

- [L7] SOKANSKÝ, K. NOVÁK, T. ZÁVADA, P. BLÁHA, Z. Hodnocení parametrů svítidel pro veřejné osvětlení. SVĚTLO, březen 2009, roč. 12, č. 3. ISSN 1212-0812.

13.2.1.3 Publikace ostatní

Odborná kniha nebo kapitola v knize

- [L8] SOKANSKÝ, K. - NOVÁK, T. - BÁLSKÝ, M. - BLÁHA, Z. - CARBOL, Z. - DIVIŠ, D. - SOCHA, B. - ŠNOBL, J. - ZÁVADA, P. Světelná technika. ČVUT, Praha, 2011. 256 p, ISBN 978-80-01-04941-9.
- [L9] SOKANSKÝ, K., a kolektiv; Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, ISBN 978-80-248-2481-9, Ostrava 2010, ediční středisko VŠB-TU, stran 150, náklad 100 ks .

Příspěvky na konferencích:

- [L10] BLÁHA, Z. -HELŠTÝNOVÁ, B. -ŠUMPICH, J. -NOVÁK, T. -SOKANSKÝ, K. Public lighting system restoring based on the European Union grants. In sborník LUMEN V4: 2014. Vrd Conference of the Visegrad Countries on Lighting. 1st ed. MEE Világítástechnikai Társaság, 2014, 203-208 s. ISBN: 978-963-9299-21-4
- [L11] BLÁHA, Z. Practical possibilities of lighting of pedestrian crossings. In sborník LUMEN V4: IIIrd Conference of the Visegrad Countries on Lighting. 1st ed. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, 2010, 73 s. ISBN 978-80-248-2247-1.

- [L12] NOVÁK, T.- SOKANSKÝ, K.- HELŠTÝNOVÁ, B.- BLÁHA, Z.- ZÁVADA, P. Možnosti měření světelně-technických parametrů pomocí jasových analyzátorů. In sborník In: Svetlo - Light 2013 : 20. medzinárodná konferencia. Podbanské, Slovakia, 23.-25.10. 2013. - Bratislava : KONGRES Management s.r.o., 2013. - ISBN 978-80-89275-35-9.
- [L13] BLÁHA, Z., SOKANSKÝ, K., NOVÁK, T.: Vyhodnocení osvětlení přechodů pro chodce pomocí jasové analýzy. In sborník SVĚTLO 2011, Ostrava, 2011, ISBN 978-80-248-2480-2.
- [L14] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Inteligentní systémy řízení venkovního osvětlení. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXVIII, Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-3207-2.
- [L15] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Možnosti měření světelně-technických parametrů pomocí jasových analyzátorů. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXVIII, Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-3207-2.
- [L16] BLÁHA, Z. Řešení VO v konfliktních oblastech. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXIX, Ostrava, 2012, ISBN 978-80-248-2832-9.
- [L17] BLÁHA, Z. Zkušenosti z návrhů osvětlení přechodů pro chodce pro ČEZ. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXX, Ostrava, 2013, ISBN 978-80-248-3174-9.
- [L18] BLÁHA, Z. Jasové poměry a bezpečnost na osvětlených přechodech pro chodce v Ostravě. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXXI, Ostrava, 2014, ISBN 978-80-248-3553-2.
- [L19] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Diagnostika přechodů pro chodce DIAGO 2014: Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení. In sborník 33. mezinárodní konference : 28.-29. ledna 2014, Rožnov pod Radhoštěm] strana 41-46.

Příspěvky v časopisech:

- [L20] BLÁHA, Z.- SOKANSKÝ, K.- NOVÁK, T. Vyhodnocování osvětlení přechodů pro chodce pomocí jasové analýzy. Elektro a trh, 2012, roč. 3, č. 1-2, s. 56-57, MK ČR E 19712.
- [L21] BLÁHA, Z.- SOKANSKÝ, K.- NOVÁK, T. Úspora elektrické energie při využití LED svítidel ve veřejném osvětlení. Elektro a trh, 2012, roč. 3, č. 3-5, s. 20-21, MK ČR E 19712.
- [L22] BLÁHA, Z. -SOKANSKÝ, K. -NOVÁK, T. Problematika přisvětlování stávajících přechodů pro chodce. SVĚTLO, březen 2014, roč. 17, č. 2, ISSN 1212-0812.

13.2.2 Seznam ostatních publikací

- [L23] BLÁHA, Z. Osvětlení stupňovité posluchárny na VŠB-TU Ostrava. In sborník Kurz osvětlovací techniky XXVIII, Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-3207-2 osvětlovací techniky XXVII, Ostrava, 2009, ISBN 978-80-248-2087-3.